

## Kooperative Datenerfassung am Beispiel des Hertzsprung-Russell-Diagramms

Sven Levetzow<sup>1</sup>, Lukas Maczewsky<sup>2</sup>, Elisa Neuhaus<sup>3</sup>, Heidi Reinholz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universität Rostock, Institut für Mathematik, Ulmenstraße 69, 18057 Rostock

<sup>2</sup>Universität Rostock, Institut für Physik, Albert-Einstein-Straße 23, 18059 Rostock

<sup>3</sup>Staatliches Gymnasium „Albert Schweitzer“ Erfurt, Vilniuser Str. 17-19, 99089 Erfurt

Sven.levetzow@uni-rostock.de

### Kurzfassung

Die digitale Messwerterfassung ist in den naturwissenschaftlichen Bildungsstandards und auch in den Rahmenplänen des Landes Mecklenburg-Vorpommerns fest verankert. Neben der Nutzung von Smartphones und Sensoren zur Messwerterfassung oder Videoanalysesoftware ist die kooperative Datenerfassung eine Möglichkeit, der digitalen Messwerterfassung gerecht zu werden. Es wird hier die kooperative Methode mit einem Ersatzversuch zur Einführung des Hertzsprung-Russell-Diagramms vorgestellt. Schülerinnen und Schüler werten Fotoaufnahmen von Sternen in verschiedenen Himmelsausschnitten hinsichtlich ihrer Farbe und ihrer Helligkeit aus. Durch das Zusammentragen vieler Messwerte kann das Hertzsprung-Russell-Diagramm erarbeitet und der wissenschaftliche Erkenntnisprozess nachvollzogen werden. Es wird eine mögliche Unterrichtsstunde vorgestellt, die auf die Entwicklung der experimentellen Teilkompetenz Fragestellung entwickeln fokussiert. Weiterhin wird diese Unterrichtsstunde anhand verschiedener didaktischer Modelle und Theorien in den Erkenntnisprozess von Schülerinnen und Schülern eingeordnet.

### 1. Fachlicher Hintergrund

Das Hertzsprung-Russell-Diagramm (HRD) ist eine grundlegende Darstellungsart in der Astronomie, welches zu Beginn des 20. Jahrhunderts entwickelt wurde, um Sterne zu kategorisieren und nach ihren Charakteristiken einzuteilen (Hertzsprung, 1911; Russell, 1913; Caroll 2017). Das HRD hat sich zum unverzichtbaren Werkzeug entwickelt, welches nicht nur eine Klasseneinteilung der Sterne sondern auch das Nachvollziehen des Entwicklungsweges eines Sterns ermöglicht. Heutzutage kann das HRD mithilfe der immensen Datenlage aus unterschiedlichsten, hochpräzisen Beobachtungsquellen eine detailreiche Sterncharakterisierung ermöglichen. Im HRD wird die absolute Helligkeit über der Spektralklasse aufgetragen (Caroll, 2017). Typisch sind auch physikalische Größen wie Oberflächentemperatur, Farbindex oder Leuchtkraft. Ein didaktisch reduzierter Zugang ist die Verwendung von sogenannten Farben-Helligkeits-Diagrammen (Argelander-Institut für Astronomie der Universität Bonn 2022). Diese sind Schülerinnen und Schülern im Schulunterricht zugänglich, da Farben visuell wahrnehmbar sind.

Beim Unterrichten des HRD im Astronomie- oder Physik-Unterricht gibt es verschiedene Ansätze, um die Idee des Diagramms mit alltäglichen Größen und Vorstellungen zu verknüpfen. Beispielsweise kann das Auftragen der Maximalgeschwindigkeit eines Fahrzeugs über der Fahrzeugmasse analog die unterschiedlichen Charakteristiken von Landwirtschaftsmaschinen gegenüber der Klasse von Sportwagen aufzeigen. Auch die Darstellung der Körpermasse über der Körpergröße von Menschen unterschiedlichen Alters ermöglicht einen Zugang zum HRD (Schwarz, 2013). Mit solchen Ersatzversuchen

können Schülerinnen und Schülern so selbst ein alternatives HRD erstellen, wobei insbesondere die Vielzahl der benötigten Daten für eine charakteristische Klasseneinteilung hervorgehoben werden.

Hier soll nun ein Ansatz vorgestellt werden, bei dem die Schüler:innen mit astronomischen Daten ein alternatives HRD erstellen. Die Schüler:innen haben dabei die Möglichkeit, den Prozess der Erstellung eines HRDs vom Blick in den Himmel bis zur Auftragung in einem Diagramm direkt nachzuvollziehen.

### 2. Beschreibung Experiment

Die kooperative Methode als eine Methode der digitalen Messwerterfassung zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass durch das Zusammentragen experimenteller Messdaten zügig eine hohe Datenmenge erreicht werden kann. Dafür nutzt man unter anderem digitale Tabellenkalkulationsprogramme, wie Excel oder OpenOffice Calc (Wilhelm 2023), die zumeist bereits in Lernmanagementsystemen integriert sind. In diesen kollaborativen Programmen arbeiten und schreiben mehrere Personen gleichzeitig, was somit zu einem zeiteffektiven Stundenablauf beiträgt. Die dabei erreichte Datenmenge verringert den Einfluss von Messunsicherheiten bei zufälligen Vorgängen. Die automatisierte Datenauswertung ermöglicht es zudem, den Fokus von Experimenten mehr auf die Identifikation und Reflexion der wissenschaftlichen Arbeitsweisen zu legen, sodass die Entwicklung von Fragestellungen, das Bilden von Hypothesen und die Auswertung der Messergebnisse in Bezug auf die Fragestellung und die Hypothese an Bedeutung gewinnen. Diese Vorteile der kooperativen Methode können genutzt werden, um die Erarbeitung des Hertzsprung-Russell-Diagramms zu verdeutlichen. Es

kommt eine Softwareanwendung (Android: Color-Picker, IOS: Color Picker AR, <https://photocolorpicker.com/de>) zum Einsatz, die die Farbwerte von Bildern beziehungsweise Bildbereichen ausgibt. Dazu lädt man das Bild eines Himmelsausschnittes in eine entsprechende Softwareanwendung und markiert einen hinreichend kleinen Bildbereich. Die Anwendung gibt die Farbwerte des Bildbereiches aus, wobei in diesem Zusammenhang die Farbwerte der HSL-Farbskala genutzt werden. Der Farbwert Hue (Farbton) entspricht einem Wert auf dem Farbkreis im Intervall von  $0^\circ$  bis  $360^\circ$ . Für die Auswertung mit dem Tabellenkalkulationsprogramm wird diese Skala auf einen Wert zwischen 0 und 400 [arb. u.] rekali­briert. Der Wert für den Farbton ersetzt die Spektralklasse im HRD.



**Abb. 1:** Rekalibrierte Farbskala im Intervall von 0 bis 400 [arb. u.]

Der Farbwert Lightness beschreibt die Helligkeit im Intervall von 0 % bis 100 %. Dieser wird genutzt, um den Wert für die absolute Helligkeit eines Sterns im HRD zu ersetzen. Durch das Auslesen dieser beiden Farbwerte kann die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Spektralklasse und der absoluten Helligkeit eines Sternes simuliert werden. Dabei wird insbesondere bei der Helligkeit/Lightness didaktisch reduziert, da die Bestimmung einer absoluten Helligkeit, wie sie im HRD verwendet wird, nicht möglich ist, jedoch auch nicht für das Lernziel benötigt wird.

### 3. Stundenverlauf

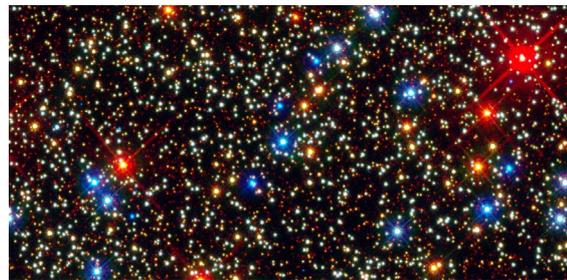
Die hier vorgestellte Unterrichtsstunde zur Erarbeitung des Hertzsprung-Russell-Diagramms zielt auf das Erkennen des experimentellen Erkenntnisprozesses durch die wiederholte Entwicklung von Fragestellungen und Aufstellen von Vermutungen ab. Aus diesem Erkenntnisprozess können erste Aussagen abgeleitet werden, die zum HRD führen. Dafür werden in der Unterrichtsstunde selbst erstellte Diagramme interpretiert und miteinander verglichen.

Die Unterrichtsstunde gliedert sich klassisch in eine Reaktivierung und Zusammenfassung, aus der eine motivierende Zielorientierung folgt. Die anschließende erste Experimentierphase ermöglicht eine erste Auseinandersetzung mit der Softwareanwendung und der graphischen Auswertung der Daten für einen Himmelsausschnitt. Die daraus resultierende Fragestellung wird in einem zweiten experimentellen Durchlauf mit einer Vielzahl verschiedener Himmelsausschnitte untersucht. Die Interpretation und der Vergleich aller entstandenen Diagramme ermöglicht erste Rückblicke auf die Fragestellungen, sodass allgemeine Aussagen formuliert werden können, die zum HRD führen.

#### Reaktivierung, Motivierung, Zielorientierung

Die Unterrichtsstunde zur Erarbeitung des HRD soll-

te langfristig vorbereitet werden. So könnte das Unterrichtsfach Astronomie mit der Frage beginnen, was man am Sternenhimmel beobachten kann. Es folgt eine Sammlung von Alltagssprachlichen Wörtern und fachlichen Begriffen, wie „Punkte bewegen sich“, „Asteroiden“, „Sterne flackern“, „Mond ist größter Körper“ uvm. Diese Sammlung der Beobachtungen dient als langfristige Zielorientierung der im Alltag beobachtbaren Phänomene, die es im Unterrichtsfach Astronomie zu klären gilt. Zu Beginn der hier vorgestellten Unterrichtsstunde wird nun auf diese Sammlung Bezug genommen und diejenigen Wörter und Begriffe identifiziert, die in vorherigen Unterrichtsstunden bereits diskutiert wurden. Die Schüler:innen erkennen, dass Formulierungen, wie „Sterne“, „verschiedene Helligkeit“, „verschiedene Farben“ noch nicht thematisiert wurden. Die Lehrkraft leitet die Schüler:innen zu der Fragestellung: „Kann man Sterne anhand ihrer Helligkeit und Farbe klassifizieren“, sodass die Schüler:innen die Untersuchung von Sternen als Stundenthema erkennen. Dabei soll darauf geachtet werden, dass die Schüler:innen die Fragestellung möglichst eigenständig entwickeln und formulieren. Möglichkeiten, die Schüler:innen bei der Entwicklung einer Fragestellung zuzustützen, schlagen Tschentscher & Kulgemeyer (2014) in ihrem Artikel zum Umgang mit Heterogenität beim Experimentieren vor.



**Abb. 2:** Bildausschnitt "Omega Centauri - WFC3" bereitgestellt von NASA, ESA, and J. Anderson and R. van der Marel unter <https://hubblesite.org/contents/media/images/2010/28/2764-Image.html?news=true>, Stand: Mai 2024

#### Erste Experimentierphase

Anschließend an die Zielorientierung erfolgt das Experiment, in dem alle Schüler:innen denselben Himmelsausschnitt (Abb. 2) auswerten.

Die Schüler:innen sollen ohne Vorgabe eines Bildsegmentes verschiedene Sterne vermessen und die Messergebnisse kollaborativ in die Tabellenkalkulation einfügen. Das mit diesen Daten erstellte Diagramm wird beschrieben und analysiert. Daraus leiten die Schüler:innen Hypothesen über existierende Gruppen von Sternen, die zu einer Sternklassen zusammengeführt werden können, ab.

Die Schüler:innen entwickeln daraufhin geleitet die Frage ab, ob diese Klassen von Sternen auch bei anderen Himmelsausschnitten zu entdecken sind. Gleichzeitig erfolgt eine Diskussion möglicher Mess-

unsicherheiten, sodass in einem zweiten Experiment die Messwerterfassung exakter durchgeführt wird. Das heißt zum Beispiel, es soll keine Mehrfachmessung einzelner Sterne oder die Vermessung eines Sternenzentrums erfolgen.

### Zweite Experimentierphase

Für die zweite Experimentierphase, in der die vorher aufgestellten Hypothesen über etwaige Klassen von Sternen geprüft werden soll, erhält jede Schülerin und jeder Schüler einen eigenen Himmelsausschnitt. Dazu bieten sich Himmelsausschnitte mit vielen verschiedenfarbigen, annähernd punktförmigen Objekten, wie zum Beispiel das Hubble Deep Field, an. Es sollen jeweils mehrere Sterne vermessen und in die Tabellenkalkulation eingetragen werden, sodass jede:r Schüler:in eine eigene Diagrammdarstellung erhält aber gleichzeitig auch Daten zu einem gemeinsamen Diagramm beiträgt. Bereits im Verlauf der zweiten Experimentierphase können die Schüler:innen die Diagramme aus der ersten und zweiten Experimentierphase miteinander vergleichen, sodass die Fragestellung zu bestehenden Klassen von Sternen diskutiert werden kann.

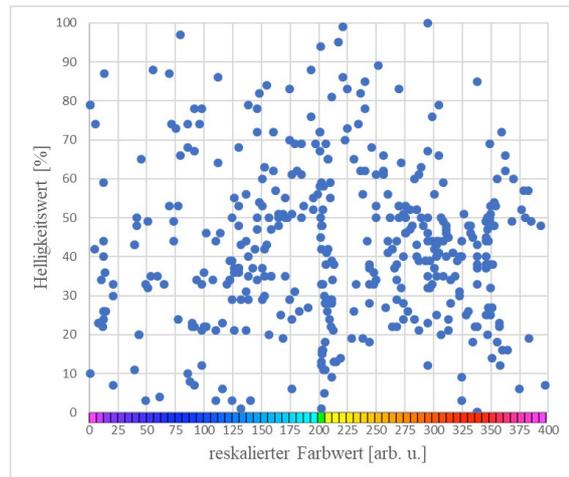
### Auswertung, Zusammenfassung

In der Phase der Auswertung und Zusammenfassung der Unterrichtsstunde vergleichen die Schüler:innen die entstanden Diagramme aus der zweiten Experimentierphase, setzen ihre Diagramme zu einer Darstellung des HRD in Beziehung und verbalisieren explizit ihre Erkenntnisse. Eine abschließende Animation (Quelle: <https://esahubble.org/videos/heic1017b/>, Stand: Mai 2024), die die Erstellung des HRDs zeigt, illustriert, was bei der Messwertaufnahme des Experimentes und der graphischen Auswertung geschehen ist, und fasst den experimentellen Erkenntnisprozess zusammen.

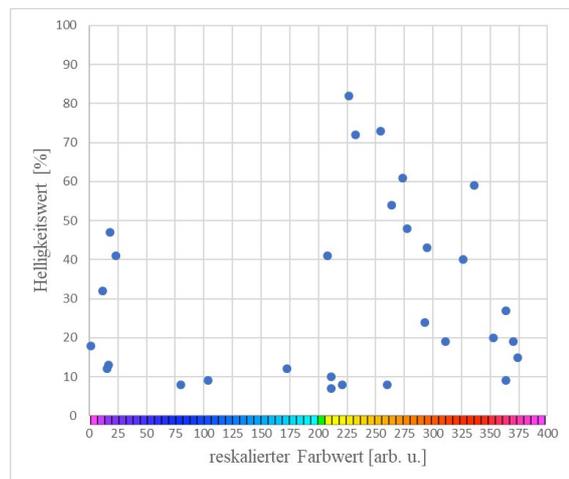
Dazu werden in der Animation die Sterne eines Himmelsausschnittes hinsichtlich ihrer Farbe und anschließend hinsichtlich ihrer Helligkeit sortiert. Als Ausblick für folgende Stunden wird die Auseinandersetzung mit den im HRD erkennbaren Klassen von Sternen als Zielorientierung formuliert.

### 4. Begleitforschung

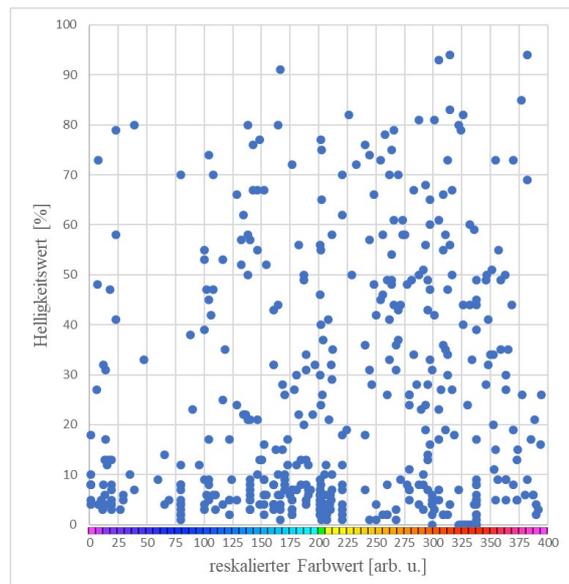
Das Facettenmodell experimenteller Teilkompetenzen nach Nawrath et al. (2011) beschreibt für den experimentellen Erkenntnisprozess sieben Kompetenzen, die es im Unterricht zu fördern gilt. Mit diesem Spinnennetzmodell können die durch ein Experiment geförderten Kompetenzen der Schüler:innen eingeschätzt werden. Die Unterrichtsstunde fokussiert die Entwicklung der Teilkompetenz „Fragestellung entwickeln“, indem das beschriebene Experiment mehrfach durchgeführt wird und dabei die Formulierung von Fragestellungen durch die Schüler:innen anregt. Für die erste Experimentierphase wird aus einer konkreten Himmelsbeobachtung eine „sinnvolle Fragestellung [abgeleitet], die sich auf das zugrundeliegen-



**Abb. 3:** Farbmessung der Sterne nach der HSL-Skala, Messwerte zu dem Bild Omega Centauri (Abb. 2) der gesamten Klasse, Anzahl Messdaten: 424



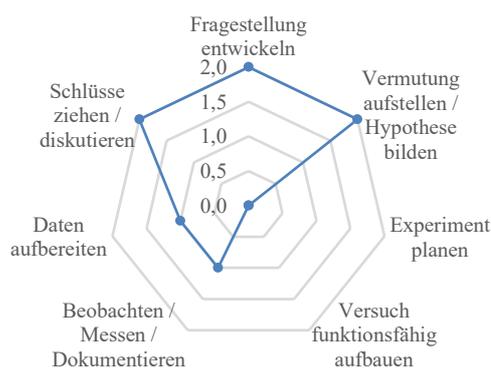
**Abb. 4:** Farbmessung der Sterne nach der HSL-Skala, Messwerte zu dem Bild "Monster Galaxy Lacks a Bright Core" einer Schüler:in, Anzahl Messdaten: 20



**Abb. 5:** Farbmessung der Sterne nach der HSL-Skala, Messwerte zu allen Bildern der zweiten Experimentierphase, Anzahl Messdaten: 480

de naturwissenschaftliche Phänomen bezieht.“ (Nawrath et al., 2011).

Die daraus abgeleitete Hypothese dient als Grundlage für eine weitere Fragestellung, die zielgerichtet und „mit den verfügbaren experimentellen Mittel untersucht werden kann.“ (Nawrath et al., 2011) Mittels eines zweiten Experimentierprozesses soll die Hypothese widerlegt oder bestätigt werden. Es wird also der experimentelle Erkenntnisprozess mehrfach durchlaufen. Für die Unterrichtsstunde mit dem Experiment zur Erarbeitung des Hertzsprung-Russell-Diagramms ergibt sich damit folgende Spinne für die experimentellen Teilkompetenzen:



**Abb. 6:** Bewertung der durch das Experiment bei den Schüler:innen geförderten experimentellen Teilkompetenzen (Nawrath et al., 2011)

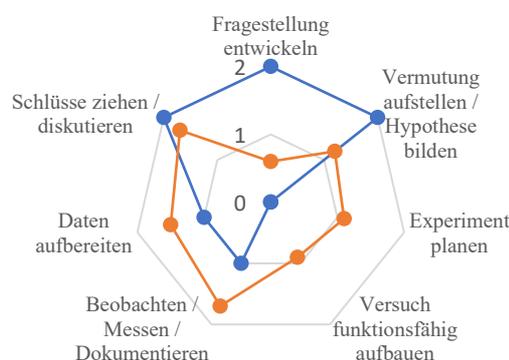
Für eine qualitative Beschreibung des Lernerfolges wird ein Fragebogen im Pre-Post-Format genutzt. Dieser fokussiert das (Vor-)Wissen zu Sternen und Sternenarten sowie das Verständnis über den wissenschaftlichen Erkenntnisprozess und wie das experimentelle Vorgehen verstanden wird, um neues Wissen zu generieren. In diesem Zusammenhang wird konkret erfragt, inwieweit die Schüler:innen die einzelnen experimentellen Teilkompetenzen in der Unterrichtsstunde wahrnehmen und für sich erkennen.

## 5. Ergebnisse der Pilotierung

An der Unterrichtsstunde zur Pilotierung nahmen N=20 Schüler:innen einer gymnasialen neunten Klasse teil. Die Abbildungen 3 bis 5 zeigen die Ergebnisse der beiden Experimentierphasen durch die Schüler:innen. In den Abbildungen sind Clusterbildungen erkennbar, ähnlich denen im HRD.

Die ausführende Lehrkraft stellte fest, dass mit der beschriebenen Unterrichtsstunde das Ziel, den experimentellen Erkenntnisprozess für die Schüler:innen bewusst zu machen, erreichbar ist. Jedoch würde die genutzte Softwareanwendung vorrangig schwarze Farbe, also eine geringere Farbhelligkeit, ausweisen. Dies irritierte die Schüler:innen in den Experimentierphasen, sodass sie die Lehrkraft um Unterstützung baten. Aufgrund der zeitlichen Begrenzung der Stunde wurde die Interpretation der Diagramme und das Ableiten von Aussagen, die zum HRD führen, in der Anschlussstunde fortgesetzt. In der Post-Testung,

die am Ende der beschriebenen Unterrichtsstunde erfolgte, wurden die Schüler:innen gefragt, inwieweit sie die experimentellen Teilkompetenzen in der Unterrichtsstunde wahrgenommen haben. Dabei erkannten 30 % der Schüler:innen die Teilkompetenz „Fragestellung entwickeln“ als Teil der Unterrichtsstunde. Das Aufstellen von Vermutungen bzw. Formulieren von Hypothesen wurde 60 % der Schüler:innen deutlich. Für die Schüler:innen lag der Schwerpunkt der Unterrichtsstunde bei der Durchführung und Auswertung des Experimentes. Die folgende Abbildung 7 illustriert die von der Lehrkraft intendierten experimentellen Kompetenzen im Vergleich zu den von den Schüler:innen in der Unterrichtsstunde wahrgenommenen enthaltenen experimentellen Tätigkeiten.



**Abb. 7:** Vergleich der durch das Experiment zu fördernden experimentellen Kompetenzen (blau) und der durch die Schüler:innen wahrgenommenen experimentellen Tätigkeiten als Mittelwert (orange)

## 6. Diskussion der Ergebnisse

Es wurde eine Unterrichtsstunde zur Erarbeitung des Hertzsprung-Russel-Diagramms vorgestellt. Dabei wurde die digitale Messwerterfassung in Form einer kooperativen Methode genutzt. Die Pilotierung der Unterrichtsstunde zeigte, dass die Planung adäquat umsetzbar ist. Zeitliche Probleme können durch mangelnde technische Fähigkeiten der Schüler:innen entstehen. Weiterhin ist die Wahl der Softwareanwendung zu überdenken. Die hier genutzte, anmeldefreie Anwendung verwendet bei der Farbanalyse einen relativ großen Bildbereich, sodass viele Farbpixel einbezogen werden. Insbesondere bei kleinen Sternen misst die Anwendung nicht nur die tatsächliche Farbe des gewählten Sternes, sondern auch weiter umliegende, meist schwarze Farbpixel, die die Messwerte maßgeblich beeinflussen. Daher ist eine Softwareanwendung zu wählen, bei der die Größe der zu vermessenden Bildbereiche durch die Pixelanzahl verstellbar ist.

Die experimentelle Tätigkeit, Fragestellungen zu entwickeln, wird von den Schüler:innen bedingt wahrgenommen. Es ist darauf zu achten, diesen Prozess mehr in den Mittelpunkt der entsprechenden Unterrichtsphasen zu rücken und die Entwicklung von Fragestel-

lungen zu unterstützen. Als entsprechende Maßnahmen schlagen Tschentscher & Kulgemeyer (2014) verschiedene Varianten vor, die die Erarbeitung der Fragestellungen begünstigen. So wäre es denkbar, die Schüler:innen die Fragestellung als Lückentext oder „Sprechblasen mit gezielten Fragen zur Entwicklung einer Fragestellung“ (ebd.) vorzugeben. Ein ebenfalls interessanter Ansatz wäre die Vorgabe mehrerer Fragestellungen, aus denen die Schüler:innen eine für sie passende auswählen.

Zusammenfassend erwies sich die hier vorgestellte Unterrichtsstunde mit dem Ersatzversuch zur Erarbeitung des Hertzsprung-Russell-Diagramm als durchaus gewinnbringend. Es zeigt jedoch auch, dass die gezielte Förderung der experimentellen Teilkompetenz „Fragestellung entwickeln“ schwierig ist und einer detaillierteren Untersuchung bedarf.

## 7. Literatur

- Argelander-Institut für Astronomie der Universität Bonn (2022): Sternentwicklung und Farben-Helligkeits-Diagramm. Online verfügbar unter [https://astro.uni-bonn.de/andromeda/m2\\_fhd/](https://astro.uni-bonn.de/andromeda/m2_fhd/), zuletzt aktualisiert am 18.02.2022, zuletzt geprüft am 27.05.2024.
- Hertzsprung, E., (1908). Über die Sterne der Unterabteilung c und ac nach der Spektralklassifikation von Antonia C. Maury *Astronomische Nachrichten*, 179, 373–380.
- Russell, H.N., (1914). Relations between the spectra and other characteristics of the stars. *Popular Astronomy*, 22, 275–294.
- Carroll, B.W., Ostlie, D.A. (2017). An introduction to modern astrophysics. *Cambridge University Press*.
- Schwarz, O. (2013). Das HRD – Erkundungen im Unterricht. *Astronomie+Raumfahrt* 135/136(3/4), 6–10.
- Nawrath, D., Maiseyenko, V. & Schecker, H. (2011). Experimentelle Kompetenz: Ein Modell für die Unterrichtspraxis. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 60(6), 42–48.
- Tschentscher, C. & Kulgemeyer, C. (2014). Mit Heterogenität beim Experimentieren umgehen: Hilfen und Tipps zur Erstellung differenzierter Versuchsanleitungen. *Unterricht Physik*(144).
- Wilhelm, Thomas (2023): Digital Physik unterrichten, zuletzt geprüft am 27.05.2024.

## Danksagung

Sven Levetzow dankt für die finanzielle Unterstützung durch das Verbundprojekt LEHREN in M-V der Qualitätsoffensive Lehrerbildung. Lukas Maczewsky dankt für die finanzielle Unterstützung durch den SFB 1477 der Deutschen Forschungsgemeinschaft.