

Sternentwicklung spielerisch verstehen



Konzeption des Brettspiels „Staub und Sterne“ für den Physikunterricht der Sekundarstufe I

MIRIAM KÜPPER – ALEXANDER KÜPPER

In diesem Beitrag präsentieren wir ein Brettspiel, mit dem die Schüler/innen den zyklischen Prozess der Sternentwicklung spielerisch erfahren und nachvollziehen können. Unter anderem lernen die Schüler/innen auf spielerische Weise, dass der genaue Verlauf der Sternentwicklung von der Masse des Sterns abhängt, die Phase als (Hauptreihen-)Stern ca. 90% der Lebenszeit ausmacht und dass z. B. schwarze Löcher das Endprodukt eines Sternentwicklungsprozesses sein können.

1 Einleitung

Mit der Aufnahme des Inhaltsfeldes *Sterne und Weltall* in den neuen Kernlehrplan für das Gymnasium der Sekundarstufe I für Nordrhein-Westfalen (MSB, 2019a), werden Lehrkräfte im bevölkerungsreichsten Bundesland Deutschlands erstmalig mit Vermittlung komplexer, astrophysikalischer Vorgänge wie Sternentwicklung konfrontiert. So sollen die Schüler/innen am Gymnasium in der Sekundarstufe I von nun an „typische Stadien der Sternentwicklung in Grundzügen darstellen“ können (ebd., S. 34). Dabei geht es nicht darum, die Vorgänge auf atomarer Ebene zu verstehen, die für die Sternentwicklung verantwortlich sind – insbesondere wird die Kernfusion erst zu einem späteren Zeitpunkt im Inhaltsfeld 10 *Ionisierende Strahlung und Kernenergie* (MSB, 2019a) behandelt. Vielmehr geht es darum, die unterschiedlichen Stadien der Sternentwicklung zu kennen und in eine sinnvolle Reihenfolge bringen zu können. Dies schließt insbesondere auch die für Schüler/innen in starkem Maße interessanten Phänomene wie schwarze Löcher bzw. Supernovae (ELSTER, 2008) mit ein.

2 Wenn die Masse die Lebenslinie vorgibt – Sternentwicklung aus astrophysikalischer Sicht

Genau wie jeder Mensch, ist auch jeder Stern verschieden und nimmt eine unterschiedliche Entwicklung. Während jedoch die Entwicklung eines Menschen von vielen verschiedenen Faktoren abhängt, wird das Leben eines Sterns maßgeblich durch seine Masse bestimmt (WEIGERT, WENDKER & WISOTZKI, 2012; SPATSCHKE, 2018). Abbildung 1 zeigt vereinfacht die verschiedenen Wege, die ein Stern im Laufe seines Lebens durchschreiten kann. Die folgenden Ausführungen zur Sternentwicklung orientieren sich an den Astrophysik-Lehrbüchern von WEIGERT et al.

(2012) bzw. SPATSCHKE (2018): Ausgangspunkt der Sternentstehung bzw. entwicklung ist eine Gaswolke. Durch die Gravitation zwischen den Molekülen kommt es zu einer Verdichtung inklusive Temperaturanstieg, die unter Einbezug von Kühlprozessen schließlich zur Kernfusion führt. Je nach stellarer Masse verläuft das Leben eines Sterns unterschiedlich: Dies beginnt bereits damit, dass die Kernfusion von Wasserstoff zu Helium – je nach Masse des Sterns – unterschiedlich lang andauert. Dabei gilt, auch wenn dies intuitiv eher unerwartet ist: Je größer die Sternenmasse, desto schneller ist die Fusion von Wasserstoff zu Helium im Kern beendet. Mit dem Ende dieser sogenannten „nuklearen Zeitskala“ (WEIGERT et al., 2012, 243) ist somit der gesamte Wasserstoff im Zentralgebiet des Sterns zu Helium fusioniert. Das Zentralgebiet besteht fast nur noch aus Helium. Außerhalb dieses Bereichs setzt sich das Wasserstoffbrennen, d.h. die Fusion von Wasserstoff zu Helium, als sogenanntes Schalenbrennen fort, was wiederum zur Expansion des Sterns führt. Ein Roter Riese entsteht. Wenn die Temperatur im Kern hoch genug wird, startet das Heliumbrennen. Bei

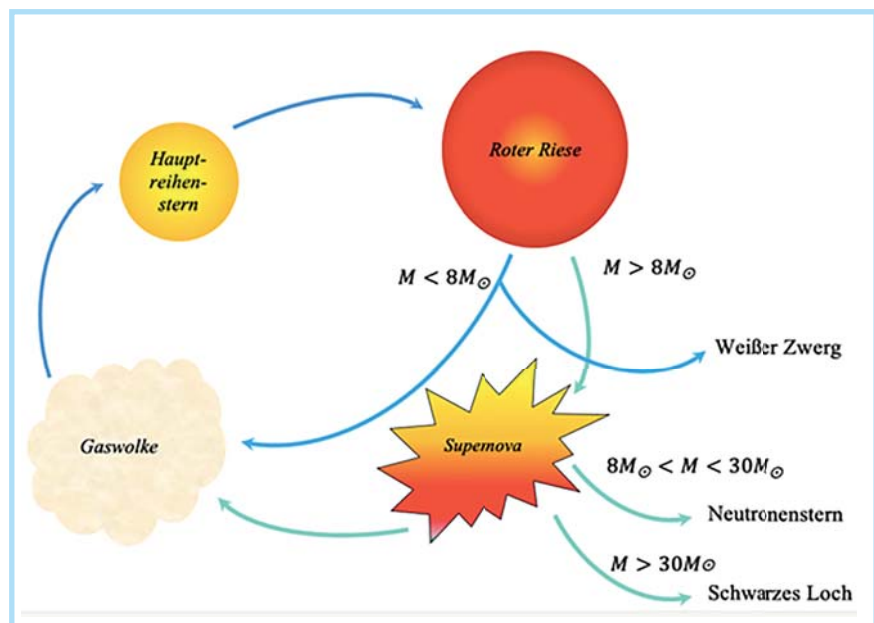


Abb. 1. Sternentwicklungsprozesse in Abhängigkeit von der Masse in Anlehnung an KLEINHANS, KÜPPER und THEIS (2020)

der Fusion von Heliumkernen können z. B. Kohlenstoff und Sauerstoff entstehen. Nun jedoch beginnen die Unterschiede, welche das Ende eines Sterns bestimmen werden: Sterne mit einer Masse kleiner als acht Sonnenmassen können keine weiteren Fusionsprozesse starten (ebd., 260). Die Hülle wird mit der Zeit davongeweht. Übrig bleibt ein weißer Zwerg mit einer Masse kleiner als 1,44 Sonnenmassen (SPATSCHKEK, 2018, 283). Bei Sternen mit einer Masse größer als acht Sonnenmassen finden nach dem Kohlenstoffbrennen weitere Fusionsprozesse statt – es entstehen Elemente bis hin zu Eisen (WEIGERT et al., 2012, 260). Da die Fusion von Eisen energetisch nicht möglich ist, kommt es zu einer Supernova. Je nach Masse des Sterns entsteht dabei ein Neutronenstern (Masse des Sterns zwischen 8 und 30 Sonnenmassen (ebd., 260); Grenzmasse des Neutronensterns zwischen 1,5 und 3,2 Sonnenmassen, ebd., 263) oder ein schwarzes Loch (Masse des Sterns größer als 30 Sonnenmassen, ebd., 2012, 260).

3 Warum Spiele(n) im Physikunterricht?

In Spielen wird das Potential gesehen, den - ansonsten für Schüler/innen oft unmotivierenden (HOFFMANN, HÄUSSLER & LEHRKE, 1998) - Physikunterricht interessanter zu gestalten (vgl. AUER, 2015). Darüber hinaus sieht MEYER (2011) im spielerisch geprägten Unterricht die Möglichkeit der Förderung von Selbstständigkeit, sowie die Ermöglichung sozialer Erfahrungen, was gerade im Sinne des Erziehungsauftrages der Schule (z. B. MSB, 2019b) in starkem Maße relevant erscheint. In diesem Zusammenhang bieten sich Spiele im Physikunterricht in Anlehnung an AUER (2015) in allen Unterrichtsphasen an:

- Spielerischer Einstieg in ein neues Thema: Auf diese Weise kann insbesondere ein Einblick in das Thema gewonnen werden, „ohne gleich mit einer womöglich einengenden physikalischen Fragestellung konfrontiert zu sein“ (ebd., 3).
- Erarbeitungsphase: Die Schüler/innen können aktiv physikalische Kompetenzen in Spielform erwerben (ebd.).
- Sicherung und Wiederholung: Die erworbenen Kompetenzen werden spielerisch angewendet, wobei insbesondere eine Überprüfung stattfinden kann, inwiefern die Inhalte verstanden wurden (ebd.; MEYER, 2011; HÄRTIG, 2015).

Unabhängig davon, in welcher Phase man ein Spiel einsetzt, gilt es darüber hinaus ein Flow-Erleben bei den Schüler/innen zu erzeugen (HÄRTIG, 2015). Dies kann beispielsweise dadurch realisiert werden, dass die Schüler/innen entweder miteinander kooperativ oder gegeneinander im Sinne eines Wettkampfs spielen (ebd.).

4 Vorstellung des Spiels „Staub und Sterne“

Der Physikunterricht in der Schule ist in der Regel experimentell geprägt (z.B. MSB, 2019). Dabei helfen Experimente den Schüler/innen durch ihre haptischen und visuellen Zugänge bei der Erarbeitung und beim Verständnis der physikalischen

Problemstellungen bzw. Inhalte. Eine experimentelle Erarbeitung ist beim Inhalt Sternentwicklung jedoch kaum möglich, da hierzu (noch) keine Experimente entwickelt wurden bzw. eine Entwicklung geeigneter Analogieexperimente komplex ist.

Daher kam der Entschluss, ein Spiel zu der zu erwerbenden Kompetenz „Die Schülerinnen und Schüler können typische Stadien der Sternentwicklung in Grundzügen darstellen“ (MSB, 2019, 34) zu entwickeln, sodass den Schüler/innen/n dennoch ein zusätzlicher haptischer Zugang im Lernprozess ermöglicht wird. Gleichzeitig können durch Spiele - wie auch durch Experimente (z. B. GIRWIDZ, 2020) - Kommunikation und Kooperationsfähigkeit gefördert werden (MEYER, 2011). Somit kann ein Spiel eine Alternative zum Experiment darstellen. Ferner ist zu beachten, dass die Sternentwicklung ein zyklischer Prozess ist. Somit bietet sich auch aus inhaltlicher Sicht eine spielerische Darstellung in Form eines Brettspiels zur Erarbeitung bzw. Darstellung direkt an.

Dabei hat das entwickelte Spiel „Staub und Sterne“ zum Ziel, grundlegende Aspekte zur Sternentwicklung zu thematisieren. Diese Aspekte sind:

- Sterne entstehen aus Gaswolken.
- Sterne entwickeln sich je nach Masse unterschiedlich.
- Ein Stern verbringt in etwa 90% seines Lebens als Hauptreihenstern und nur 10% als Roter Riese (BRITAVSKIY et al., 2019).
- Je höher die Masse des Sterns, desto kürzer ist die Zeit als Hauptreihenstern.
- Am Ende einer jeden Sternentwicklung gibt es eine Gaswolke und einen Überrest.
- Sternentwicklung als zyklischer Prozess. Aus der entstehenden Gaswolke kann (durch Hinzufügen zusätzlichen Materials) ein neuer Stern entstehen.

Pro Kleingruppe werden die in Kasten 1 genannten bzw. Abbildung 2 gezeigten Materialien benötigt. Das Spielfeld, eine Druckvorlage für die Massekarten, die Spielanleitung und die tabellarische Übersicht zur Protokollierung des Spielverlaufs können in den Online-Materialien bzw. unter <https://astro-lab.app/staub-und-sterne/> abgerufen werden.

- Spielfeld
- Spielfiguren je nach Anzahl der Mitspieler/innen (z.B. in Form eines Sterns)
- 3 Würfel (mit den Zahlen 3x1 und 3x2 bzw. 3x3 und 3x4 bzw. 3x5 und 3x6)
- Kartenstapel mit Sternenmassen von 5 Sonnenmassen bis 7 Sonnenmassen
- Tabelle zur Protokollierung des Spielverlaufs

Kasten 1. Tabellarische Übersicht über die benötigten Materialien

Der Spielverlauf wird exemplarisch anhand von Abbildung 3 mit zwei Spieler/innen/n präsentiert. Das Spiel sollte maximal mit vier Personen gespielt werden. Allgemein gilt: Je mehr Spieler/innen mitspielen, desto länger dauert das Spiel.

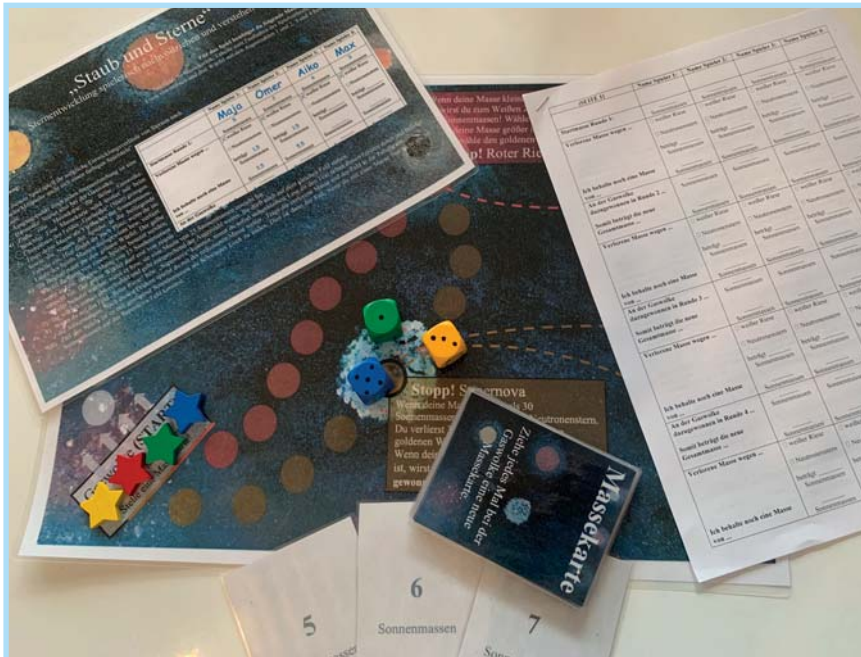


Abb. 2. Übersicht über die benötigten Materialien

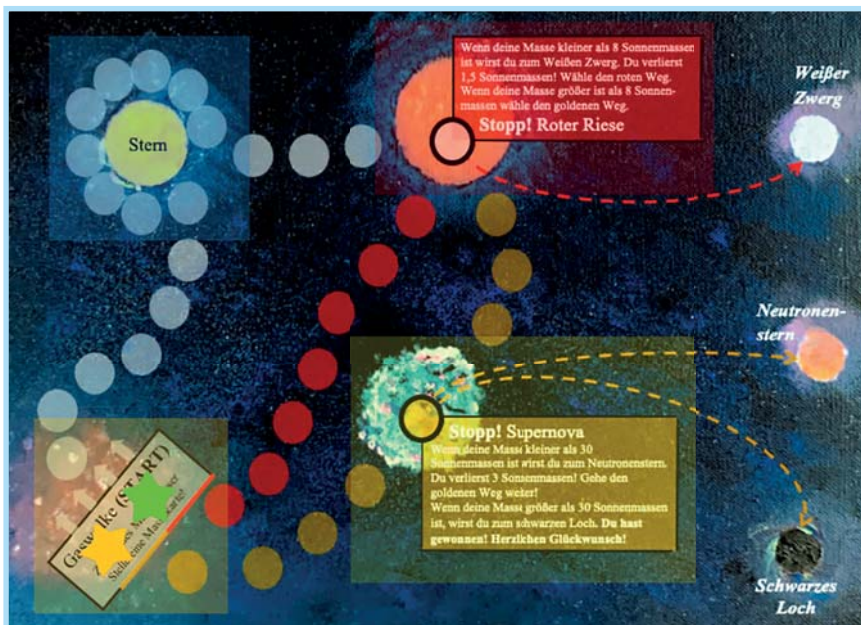


Abb. 3. Das Spielfeld. Die wichtigsten Bereiche sind farblich markiert.

Zwei Spieler/innen haben Figuren in Form eines gelben und eines grünen Sterns (Spielstein) ausgewählt und starten auf der Gaswolke. Würden noch zwei weitere Spieler/innen mitspielen, würden diese z.B. jeweils einen roten oder blauen Spielstein nutzen. Die Gaswolke (oranger Bereich in Abb. 3) ist gleichzeitig der Anfang und das Ende eines jeden Sternentwicklungszyklus – ausgenommen am Ende des Spiels als schwarzes Loch. An der Gaswolke ziehen die Mitspielenden jeweils ihre erste Massekarte und tragen die gezogene Masse in die beiliegende Protokollvorlage (Abb. 4) ein. Die Massekarten zeigen die Werte 5, 6 und 7 Sonnenmassen an. Der Grund für die Wahl dieser Massen liegt darin, dass dies den Spielverlauf optimal in die verschiedenen Zyklen aufteilt.

Die Mitspielenden würfeln zunächst abwechselnd mit dem grünen Würfel, der auf seinen sechs Seiten dreimal die Augenzahl 1 und dreimal die Augenzahl 2 besitzt. Die Mitspielenden ziehen entsprechend der Augenzahl des Würfels auf dem Spielfeld voran. Zusätzlich zum grünen Würfel gibt es im Spiel noch einen gelben Würfel (mit den Augenzahlen 3 und 4) und einen blauen Würfel (mit den Augenzahlen 5 und 6). Der gelbe Würfel wird erst bei einer Gesamtmasse der bzw. des einzelnen Mitspielenden von 15 bis 25 Sonnenmassen und der blaue Würfel bei mehr als 25 Sonnenmassen genutzt. Diese Grenzmassen sind fiktiv gewählt.

Durch das Würfeln mit dem grünen Würfel entwickelt sich der gelbe (und auch der grüne) Spielstein zunächst spielerisch zum Hauptreihenstern (blauer Bereich in Abb. 3). Da der grüne Würfel nur kleine Augenzahlen anzeigt, benötigt dieser erste Zyklus relativ viel Zeit. Nachdem der Verlauf des Hauptreihensterns mit dem Roten Riesen endet, gelangt der Spielstein auf ein rotes Stopp-Feld (roter Bereich in Abb. 3). Hier ist auf einem roten Feld folgendes zu lesen: „Wenn deine Masse kleiner als 8 Sonnenmassen ist wirst du zum Weißen Zwerg. Du verlierst 1,5 Sonnenmassen! Wähle den roten Weg. Wenn deine Masse größer ist als 8 Sonnenmassen wähle den goldenen Weg.“

Anfangs haben die Spieler noch eine zu geringe Gesamtmasse, sodass sie zu einem Weißen Zwerg und einem Gasüberrest werden (Abb. 3) und von ihrer Ausgangsmasse mithilfe des Protokollbogens 1,5 Sonnenmassen abziehen müssen. Diese Rechnung wird im Protokollbogen notiert (Abb. 4). Anschließend nutzen sie den roten Weg, bevor sie auf der Gaswolke wieder eine neue Massekarte ziehen dürfen. Die gezogene Masse wird zur (Gesamt-)Masse aus dem vorherigen Zyklus hinzuaddiert. Dieser Zyklus wird solange durchgespielt, bis man eine Gesamtmasse von 8 Sonnenmassen besitzt. Dann geht man – entsprechend dem Infotext am Rote Riese Stopp-Feld den goldenen Weg und wird – wie in der Realität – zu einer Supernova (gelber Bereich in Abb. 3). Hier befindet sich ein goldenes Stopp-Feld. Auf diesem Feld ist Folgendes zu lesen: „Wenn deine Masse kleiner als 30 Sonnenmassen ist, wirst du zum Neutronenstern. Du verlierst 3 Sonnenmassen! Gehe den goldenen Weg weiter! Wenn deine Masse größer als 30 Sonnenmassen ist, wirst du zum schwarzen Loch. Du hast gewonnen! Herzlichen Glückwunsch!“ Da man zum jetzigen Zeitpunkt

noch keine Gesamtmasse größer 30 Sonnenmassen haben kann, wird man zu einem Neutronenstern und verliert entsprechend drei Sonnenmassen. Dies wird ebenso in den Protokollbogen (Abb. 4) eingetragen und man wandert zurück zur Gaswolke, wo man eine neue Massekarte zieht.

Der gelbe Würfel darf von den Mitspielenden genutzt werden, wenn sie jeweils eine Gesamtmasse von 15 Sonnenmassen erreicht haben. Damit wird der jeweilige Entwicklungszyklus schneller verlaufen, da dieser Würfel dreimal die Zahlen 3 bzw. 4 trägt. Wie bereits weiter oben beschrieben wird für die bzw.

den einzelnen Mitspieler/in ab 25 Sonnenmassen dieser Entwicklungsprozess erneut beschleunigt, indem man den blauen Würfel mit den Augenzahlen 5 und 6 benutzen darf. Man beachte hierbei, dass für die Wahl des Würfels die Ausgangsmasse an der Gaswolke und nicht die reduzierte Masse nach dem Stopp-Feld am Roten Riesen bzw. der Supernova entscheidend ist.

Ziel des Spieles ist es, mit über 30 Sonnenmassen zur Supernova zu werden, weil es in diesem Fall zur Entstehung eines Schwarzen Lochs kommt.

Eine Vervielfältigung dieser Karten für naturwissenschaftlichen Unterricht ist gestattet.
© 2020 Miriam und Alexander Küpper

(SEITE 1)	Name Spieler 1:	Name Spieler 2:	Name Spieler 3:	Name Spieler 4:
	Maja <u>5</u>	Ömer <u>7</u>	Aiko <u>6</u>	Max <u>5</u>
Startmasse Runde 1:	Sonnenmassen	Sonnenmassen	Sonnenmassen	Sonnenmassen
Verlorene Masse wegen ...	<input checked="" type="checkbox"/> weißer Zwerg <input type="checkbox"/> Neutronenstern beträgt <u>1,5</u> Sonnenmassen	<input checked="" type="checkbox"/> weißer Zwerg <input type="checkbox"/> Neutronenstern beträgt <u>1,5</u> Sonnenmassen	<input checked="" type="checkbox"/> weißer Zwerg <input type="checkbox"/> Neutronenstern beträgt <u>1,5</u> Sonnenmassen	<input checked="" type="checkbox"/> weißer Zwerg <input type="checkbox"/> Neutronenstern beträgt <u>1,5</u> Sonnenmassen
Ich behalte noch eine Masse von ...	<u>3,5</u> Sonnenmassen	<u>5,5</u> Sonnenmassen	<u>4,5</u> Sonnenmassen	<u>3,5</u> Sonnenmassen
An der Gaswolke dazugewonnen in Runde 2 ...	<u>5</u> Sonnenmassen	<u>7</u> Sonnenmassen	<u>5</u> Sonnenmassen	<u>5</u> Sonnenmassen
Somit beträgt die neue Gesamtmasse ...	<u>8,5</u> Sonnenmassen	<u>12,5</u> Sonnenmassen	<u>9,5</u> Sonnenmassen	<u>8,5</u> Sonnenmassen
Verlorene Masse wegen ...	<input type="checkbox"/> weißer Zwerg <input checked="" type="checkbox"/> Neutronenstern beträgt <u>3</u> Sonnenmassen	<input type="checkbox"/> weißer Zwerg <input checked="" type="checkbox"/> Neutronenstern beträgt <u>3</u> Sonnenmassen	<input type="checkbox"/> weißer Zwerg <input checked="" type="checkbox"/> Neutronenstern beträgt <u>3</u> Sonnenmassen	<input type="checkbox"/> weißer Zwerg <input checked="" type="checkbox"/> Neutronenstern beträgt <u>3</u> Sonnenmassen
Ich behalte noch eine Masse von ...	<u>5,5</u> Sonnenmassen	<u>9,5</u> Sonnenmassen	<u>6,5</u> Sonnenmassen	<u>5,5</u> Sonnenmassen
An der Gaswolke dazugewonnen in Runde 3 ...	<u>6</u> Sonnenmassen	<u>7</u> Sonnenmassen	<u>7</u> Sonnenmassen	<u>5</u> Sonnenmassen
Somit beträgt die neue Gesamtmasse ...	<u>11,5</u> Sonnenmassen	<u>16,5</u> Sonnenmassen	<u>13,5</u> Sonnenmassen	<u>10,5</u> Sonnenmassen
Verlorene Masse wegen ...	<input type="checkbox"/> weißer Zwerg <input checked="" type="checkbox"/> Neutronenstern beträgt <u>3</u> Sonnenmassen	<input type="checkbox"/> weißer Zwerg <input checked="" type="checkbox"/> Neutronenstern beträgt <u>3</u> Sonnenmassen	<input type="checkbox"/> weißer Zwerg <input checked="" type="checkbox"/> Neutronenstern beträgt <u>3</u> Sonnenmassen	<input type="checkbox"/> weißer Zwerg <input checked="" type="checkbox"/> Neutronenstern beträgt <u>3</u> Sonnenmassen
Ich behalte noch eine Masse von ...	<u>8,5</u> Sonnenmassen	<u>13,5</u> Sonnenmassen	<u>10,5</u> Sonnenmassen	<u>7,5</u> Sonnenmassen

Abb. 4. Protokollvorlage – exemplarisch ausgefüllt

Spiel „Staub und Sterne“	Realität (vgl. WEIGERT et al., 2012; SPATSCHEK, 2018; BRITAVSKIY et al., 2019)
Die Lernenden starten als Gaswolke.	Ausgangspunkt einer Sternentwicklung ist Vorhandensein einer Gaswolke.
Je nach Masse werden unterschiedliche Entwicklungswege im Spiel durchlaufen. Die Werte für die Massen entsprechen der Realität. Massen der Endprodukte werden von der Anfangsmasse abgezogen. Die Werte wurden ähnlich zur Realität gewählt (weißer Zwerg: 1,5 Sonnenmassen; Neutronenstern: 3 Sonnenmassen)	Alle Sterne werden zum Roten Riesen. Wenn die Anfangsmasse des Sterns: $M < 8M_{\odot}$: Weißer Zwerg + Gaswolke $M < 30M_{\odot}$: Neutronenstern + Gaswolke $M > 30M_{\odot}$: Schwarzes Loch (+ Gaswolke) Dabei steht M_{\odot} für die Sonnenmasse. Masse der Endprodukte: Masse Weißer Zwerg: $M < 1,44M_{\odot}$ Masse Neutronenstern: $1,5M_{\odot} < M < 3,2M_{\odot}$. Dabei steht M_{\odot} für die Sonnenmasse. Der Rest der Masse wird an das interstellare Medium „zurückgegeben“.
Um den Stern herum gibt es 9x mehr Felder als beim Roten Riesen (1 Feld).	Ca. 90% der Lebenszeit als Hauptreihenstern.
Verwendung von drei verschiedenen Würfeln zur Realisierung der Massenabhängigkeit: Grün: $M < 15M_{\odot}$: Zahlen 1 und 2 Gelb: $M < 25M_{\odot}$: Zahlen 3 und 4 Blau: $M \geq 25M_{\odot}$: Zahlen 5 und 6	Je nach Masse des Sterns dauert die Phase als (Hauptreihen-)Stern unterschiedlich lang: Je höher die Masse, desto kürzer ist die Lebensdauer.
Wenn die Schüler/innen wieder an der Gaswolke ankommen, kann ein neuer Zyklus beginnen.	Sternentwicklung ist ein zyklischer Prozess.

Tab. 1. Vergleich zwischen Spiel und Realität

5 Sternentwicklung in Spiel und Realität – ein kritischer Vergleich

„Es ist wichtig, nach dem Spiel die Bedeutung eines Modells und die Modellgrenzen zu diskutieren“ (AUER, 2015, 7). Diese Aussage bezieht sich einerseits auf den Unterricht; gleichzeitig gilt es jedoch auch einen kritischen Vergleich zwischen Spiel und Realität in diesem Beitrag anzustellen. Dabei zeigt Tabelle 1, dass es eine Vielzahl an Gemeinsamkeiten zwischen dem Spiel „Staub und Sterne“ und der realen Sternentwicklung gibt.

Gleichzeitig muss jedoch formuliert werden, dass einzelne Aspekte der Sternentwicklung vernachlässigt bzw. vereinfacht wurden. So wurde die Entwicklung von der Gaswolke zum Protostern nicht beachtet. Ebenso wurde, weil den Lernenden in der Regel das Hertzsprung-Russell-Diagramm nicht bekannt ist, der Begriff *Hauptreihenstern* durch *Stern* vereinfacht. Vereinfachungen wurden ferner insbesondere getroffen, um leichtere Rechnungen durchzuführen. So wurde die Masse eines Weißen Zwergs mit 1,5 Sonnenmassen festgelegt, auch wenn weiße Zwerge eigentlich eine Masse kleiner als 1,44 Sonnenmassen

besitzen (SPATSCHEK, 2018). Auch wurde für den Neutronenstern eine Masse von 3 Sonnenmassen genutzt, wobei in der Realität die Grenzmasse zwischen 1,5 und 3,2 Sonnenmassen liegt (WEIGERT et al., 2012, 263). Gleichzeitig gilt in der Realität, dass die nukleare Zeitskala, d.h. die Zeit, in der im Sternkern Wasserstoff zu Helium fusioniert wird, proportional zu mit der Sternmasse ist (ebd., 243). Eine derartige Vorgehensweise erscheint in einem Würfelspiel nicht möglich. Daher wurden drei verschiedene Würfel mit den Zahlen 1 und 2 für eine Gesamtmasse kleiner als 15 Sonnenmassen, 3 und 4 für eine Gesamtmasse größer gleich 15 und kleiner als 25 Sonnenmassen und 5 und 6 für Gesamtmassen größer gleich 25 Sonnenmassen verwendet. Die gewählten Sonnenmassen sind dabei fiktiv. Durch die Festlegung anderer Werte kann das Spiel verlangsamt bzw. beschleunigt werden.

6 In welchem Unterrichtsphasen kann das Spiel eingebettet werden?

Ursprünglich war das Spiel für eine Erarbeitungsphase gedacht, in der die Kompetenz „Die Schülerinnen und Schüler können

typische Stadien der Sternentwicklung in Grundzügen darstellen“ (MSB, 2019, 34) gefördert wird. Auf diese Weise können die Lernenden auf spielerische Weise den Zyklus der Sternentwicklung erfahren und insbesondere erkennen, dass für sie interessante Inhalte, wie Supernovae und schwarze Löcher (ELSTER, 2008), Entwicklungsphasen bzw. Endprodukte der Sternentwicklung sind. Im Anschluss an eine spielerische Erarbeitung lassen sich dann auch spannende Fragen wie z.B. „Wie verläuft die Entwicklung der Sonne?“ beantworten. Natürlich kann es alternativ auch nach einer anderen Erarbeitungsphase als Sicherung dienen, in der die wesentlichen Elemente vertieft oder wiederholt werden (z. B. MEYER, 2011; AUER, 2015; HÄRTIG, 2015). Hier besteht beispielsweise die Möglichkeit ein reduziertes Regelwerk an die Lernenden auszugeben, sodass sie ausgehend von ihnen im Unterricht anders gewonnenen Kenntnissen zunächst weitere Regeln erarbeiten müssen, bevor das Spiel gespielt wird. In diesem Sinne kann man das Spiel auch zur Überprüfung der erworbenen Kompetenzen genutzt werden.

Denkbar wäre darüber hinaus, das Spiel (zusätzlich) zur Wiederholung am Ende der Unterrichtsreihe zum Inhaltsfeld *Sterne und Weltall* zu nutzen und passende Wissensfragen mit einbeziehen. So könnten beispielsweise geeignete Fragen an den Stopp-Feldern gestellt werden, die beantwortet werden müssen, damit die Lernenden weitergehen dürfen. Denkbar wäre darüber hinaus die Massekarten mit 5, 6 und 7 Sonnenmassen mit geeigneten Fragestellungen zu versehen. Entsprechend würden die Lernenden an der Gaswolke eine Sonnenmasse auswählen, die sie jedoch erst erhalten, wenn sie die Frage richtig beantworten.

Zum jetzigen Zeitpunkt wurde das Spiel im Rahmen einer Astronomie-AG erprobt und aus den Erfahrungen weiterentwickelt. Ferner wurde das Spiel im Anschluss an die Präsentation auf der Lehrerfortbildung Physik/Astronomie der Universität zu Köln von einzelnen Lehrkräften im Rahmen des eigenen Unterrichts erprobt. Die mitgeteilten Erfahrungen flossen in die in diesem Beitrag präsentierte Version des Spiels ein. Darüber hinaus laden wir jede/n Leser/in dieses Beitrags herzlich dazu ein das Spiel im Unterricht zu erproben. Über Rückmeldungen und Verbesserungsvorschläge würden wir uns freuen.

Danksagung

An dieser Stelle möchten wir uns herzlich bei SEBASTIAN SPICKER für die Bearbeitung der Spielfeld-Bilder in diesem Beitrag bedanken!

Literatur

AUER, V. (2015). Spielen im Physikunterricht. *Delta Phi B*. [www.physikdidaktik.info/data/_uploaded/Delta_Phi_B/2015/Auer\(2015\)Spiele_im_Physikunterricht_DeltaPhiB.pdf](http://www.physikdidaktik.info/data/_uploaded/Delta_Phi_B/2015/Auer(2015)Spiele_im_Physikunterricht_DeltaPhiB.pdf) (02.02.2022).

BRITAVSKIY, N., LENNON, D. J., PATRICK, L. R., EVANS, C. J., HERRERO, A., LANGER, N., ... TAYLOR, W. D. (2019). The VLT-FLAMES Tarantula Survey - XXX. Red stragglers in the clusters Hodge 301 and SL 639. *Astronomy & Astrophysics*, 624, A128, 13 Seiten.

Elster, D. (2008): Was interessiert Jugendliche an den Naturwissenschaften? *VFPC – Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts, Vortrag zur 62. Vortragswoche*.

HÄRTIG, H. (2015). Im Physikunterricht spielen! Charakteristika von Spielen und Chancen für den Physikunterricht, *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 149, 2–5.

HOFFMANN, L., HÄUSSLER, P. & LEHRKE, M. (1998). *Die IPN-Interessensstudie Physik*. Kiel: IPN.

GIRWIDZ, R. (2020). Experimente im Physikunterricht. In E. KIRCHER, R. GIRWIDZ & H.E. FISCHER (Hg.), *Physikdidaktik – Grundlagen* (S. 263–291). Berlin, Heidelberg: Springer.

KLEINHANS, S., KÜPPER, A. & THEIS, S. (2020). *Natur und Technik Themenheft Astronomie*. Berlin: Cornelsen-Verlag.

MEYER, H. (2011). *Unterrichtsmethoden II – Praxisband*. Berlin: Cornelsen-Verlag.

MSB (2019a): *Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen*. https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/208/g9_ph_klp_%203411_2019_06_23.pdf (02.02.2022).

MSB (2019b). *Schulgesetz für das Land Nordrhein-Westfalen (Schulgesetz NRW - SchulG)*. <https://bass.schul-welt.de/6043.htm> (02.02.2022).

SPATSCHEK, K.-H. (2018). *Astrophysik: Eine Einführung in Theorie und Grundlagen*, 2. Auflage. Berlin: Springer-Spektrum.

WEIGERT, A., WENDKER, H.J. & WISOTZKI, L. (2012). *Astronomie und Astrophysik – ein Grundkurs*. Weinheim: VILEY-VCH.

MIRIAM KÜPPER ist Lehrerin für die Fächer Physik und evangelische Religion am Gymnasium Lechenich.

Dr. ALEXANDER KÜPPER, ehemals Institut für Physikdidaktik der Universität zu Köln, absolviert derzeit seinen Vorbereitungsdienst am Zentrum für schulpraktische Lehrerbildung Köln bzw. am Gymnasium der Stadt Frechen.
Kontakt: alexkuepper@yahoo.de