

„Heute wissen wir, wie das Universum aussieht!“ ... oder?

Eine digitale Lernumgebung zur Vorläufigkeit von naturwissenschaftlichem Wissen am Beispiel der Geschichte der Astronomie

KATJA CRAMER – YVONNE WEBERSEN

Im Beitrag wird eine digitale Lernumgebung für Schüler/innen vorgestellt, die den Vorläufigkeitsaspekt am Beispiel der historischen Veränderung des astronomischen Weltbildes in den Vordergrund stellt. Mithilfe der Lernumgebung können Schüler/innen zum einen die historische Entwicklung der Vorstellung unseres Universums nachvollziehen. Zum anderen bietet das Begleitmaterial die Möglichkeit, über den Vorläufigkeitsaspekt und den Konsens in den Naturwissenschaften zu reflektieren.

1 Einleitung: Die Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens

Wenngleich die Vorläufigkeit ein zentraler Aspekt naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung ist (BILLION-KRAMER, 2021; LEDERMAN, 2006), kann er in der allgemeinen Wahrnehmung durchaus missverstanden werden. So vermutet KAMPOURAKIS (2018), dass in Bereichen wie der Klimawandelleugnung, der Impfgegnerschaft oder bei der Ablehnung der Evolutionstheorie (um nur einige Beispiele zu nennen) nicht mangelndes Fachwissen, sondern vielmehr ein Unverständnis gegenüber der Unsicherheit und Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens zugrunde liegt. Dies wird insbesondere dann problematisch, wenn aktuelle, wissenschaftliche Forschung in der breiten Öffentlichkeit diskutiert wird und die Grundlage für politische Entscheidungen bildet.

Dies war beispielsweise im Rahmen der COVID-19-Pandemie zu beobachten (MÜLLER & REINERS, 2022). Darüber hinaus zeigt sich, dass Vorstellungen über den Aspekt der Vorläufigkeit besonders resistent gegenüber Veränderungen sind (MÜLLER, 2021).

Die Geschichte der Astronomie bietet aufgrund ihrer wechselnden Vorstellungen über den Aufbau unseres Universums ein anschauliches Beispiel für die Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens. So veränderten sich die Vorstellungen über den Aufbau unseres Universums z.B. aufgrund der durch neue Technologien gewonnenen Daten oder/und besseren Theorien, die diese Erkenntnisse erklären (BILLION-KRAMER, 2021; LEDERMAN, 2006). Auch lässt sich am Beispiel der Geschichte der Astronomie die Frage diskutieren, wie sicher wir uns heute über die Beschaffenheit des Universums sind bzw. sein können.

Nach einem kurzen, historischen Überblick wird im Folgenden eine digitale Lernumgebung für Schüler/innen vorgestellt, die neben der Geschichte der Astronomie insbesondere die Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens adressiert. Die Zielgruppe sind Schüler/innen im Physikunterricht der 9.–13. Jahrgangsstufe.

2 Vorstellungen über das Universum im Wandel der Zeit

2.1 Die Antike

Die Anfänge der Astronomie liegen in der Antike. Dank der Fortschritte in der Geometrie und im Bereich des Modelldenkens gelang es den Denkern der Antike, die Gesetzmäßigkeiten der Natur zu erklären (SIMONYI, 2001). Zentral für ihre Erkenntnisse waren die astronomischen Beobachtungen, aus denen sie begründete Schlussfolgerungen ableiteten.

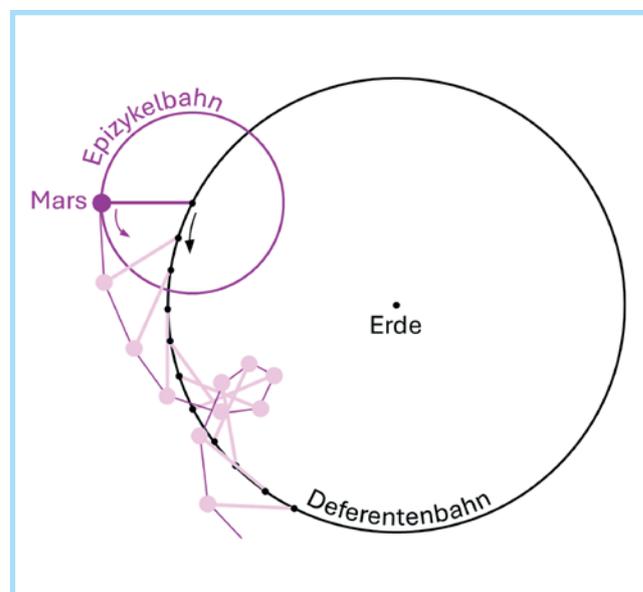


Abb. 1. Schematische Darstellung der Epizykeltheorie: Darstellung angelehnt an SIMONYI (2012)

ARISTOTELES entwickelte zu seiner Zeit (um 340 v. Chr.) folgendes Weltbild: Die Erde bilde das Zentrum des Universums, um das sich die Sonne, der Mond und die Planeten auf Kristallsphären drehten. Die Fixsterne befänden sich an einer äußersten Sphäre, welche die irdische Welt vom Nichts abgrenzte (SIMONYI, 2001). Neben ARISTOTELES entwickelten zeitgleich weitere

Naturforscher Vorstellungen zum Weltbild. Zum Beispiel vermutete ARISTARCH (270 v. Chr.) bereits, dass sich die Erde um die Sonne drehe. EUDOXOS hingegen konkretisierte die Vorstellung von ARISTOTELES, indem er postulierte, dass es zur Beschreibung der Planetenbewegungen 27 Sphären geben müsse (SIMONYI, 2001).

Die Vorstellung ARISTOTELES' setzte sich schließlich durch. Lediglich der Vorstellung von PTOLEMÄUS wurde ein ähnlich hohes Ansehen zuteil. PTOLEMÄUS (um 100 n. Chr.) ging dem Problem nach, dass der Mars keiner Kegelschnittbahn, sondern einer Schleifenbahn folgt (vgl. VOLTMER, 2007), was mit der Vorstellung von ARISTOTELES nicht erklärbar war. PTOLEMÄUS beschrieb daher die Epizykeltheorie: Der Mars (und auch andere Planeten) bewegen sich auf einer Kreisbahn (Epizykel), dessen Zentrum auf einer großen Kreisbahn (Deferent) um die Erde kreist. Von der Erde aus folgt der Mars damit einer Schleifenbahn (Abb. 1). Die Deferenten entsprechen dann den Kreisbahnen auf den aristotelischen Kristallsphären (SIMONYI, 2012).

2.2 Das Mittelalter

Nach der Antike dauerte es noch bis ins 17. Jahrhundert, bis sich die Astronomie deutlich weiterentwickelte. Es mangelte zwar nicht an astronomischen Beobachtungen, jedoch ermöglichten erst mehrere Meilensteine der Wissenschaft eine Weiterentwicklung des Weltbildes: so hat einerseits der Buchdruck zu einem schnelleren Wissenstransfer beigetragen und andererseits die Entwicklung von neuen Werkzeugen präzisere Messungen ermöglicht. Die Verwendung eines Quadranten etwa gestattete eine exaktere Bestimmung der Winkel am Himmel (SIMONYI, 2001).

2.3 Die Neuzeit

KOPERNIKUS (um 1540) konnte die Umlaufbahnen mit neuen Messwerkzeugen exakter bestimmen und diese Beobachtungen mithilfe einer neuen Vorstellung besser erklären: Er kam zu dem Schluss, dass die Sonne im Zentrum stehen müsse und die Erde sich um die Sonne drehe. Andere Planeten drehten sich (teils auf Epizyklen) auf Kreisbahnen um die Sonne. Mit dieser Vorstellung ging er persönlich ein großes Risiko ein, da man im Christentum zu dieser Zeit davon ausging, dass das Universum von Gott für den Menschen geschaffen wurde und die Erde damit im Zentrum stehen müsse (SIMONYI, 2001).

TYCHO DE BRAHE (um 1584) schloss sich KOPERNIKUS dahingehend an, dass die Vorstellung aus der Antike aus seiner Sicht nicht stimmig sei. Jedoch war er davon überzeugt, dass die Erde im Zentrum des Universums stehen müsse. Er postulierte daher eine Vorstellung, bei der sich die Erde im Zentrum befände und sich die Sonne um die Erde bewege. Die anderen Planeten hingegen drehten sich um die Sonne (SIMONYI, 2001). JOHANNES KEPLER (um 1609), der einst von TYCHO DE BRAHE eingestellt wurde, um DE BRAHES Vorstellung mathematisch zu beschreiben, entwickelte ebenfalls eine neue Vorstellung: er schloss sich wiederum KOPERNIKUS an und sah die Sonne im Zentrum, die Planeten und damit auch die Erde kreisten um die Sonne, wobei die Bewegungsbahnen elliptisch und nicht ideal kreisförmig seien (SIMONYI, 2001). Die KEPLERSche Vorstellung wurde von den Beobachtungen von GALILEO GALILEI (um 1620) gestützt.

GALILEI beobachtete unter anderem, dass sich Monde um den Jupiter drehen und liefert damit einen weiteren Anhaltspunkt dafür, dass sich nicht alle Himmelskörper um die Erde drehen. Er schlussfolgerte daraus, dass sich ebenfalls die Erde wie die anderen Planeten um die Sonne bewege (SIMONYI, 2001). NEWTON (um 1687) lieferte ferner mit der Gravitationstheorie eine Erklärung für die Bewegung von Planeten um die massereiche Sonne (SIMONYI, 2001). Das KEPLERSche Weltbild hat sich damit weitestgehend durchgesetzt und wird heute noch als geltendes Weltbild in Schulen unterrichtet.

2.4 Die Moderne

Nicht zuletzt durch bessere Teleskope erweiterte sich der Blick der Astronom/inn/en nach KEPLER. Die Sonne löste nicht nur die Erde als Mittelpunkt der Welt ab. Auch kam man zu der Erkenntnis, dass unsere Sonne ein Stern unter Milliarden gleichartiger Sterne in unserer Galaxie – der Milchstraße – ist. Letztlich ist auch die Milchstraße nur eine Galaxie unter Milliarden anderen. Aus der Vorstellung eines Weltbildes wurde eine Vorstellung über das Universum. HUBBLE (um 1929) beobachtete, dass sich die Absorptionslinien weit entfernter Galaxien in den langwelligen Bereich des Spektrums verschieben, was als Rotverschiebung bezeichnet wird. Daraus schloss er, dass sich Galaxien mit großen Geschwindigkeiten voneinander entfernen und das Universum folglich expandiert. Aus der allgemeinen und speziellen Relativitätstheorie ergab sich außerdem das Konzept der Raumzeit, welches beschreibt, wie sich Materie im Kosmos bewegt (KUHN, 2016).

3 Digitale Lernumgebung mit genially

Die digitale Lernumgebung „Die Historie der Astronomie“ für Schüler/innen wurde mithilfe der Plattform *genially* erstellt. *Genially* (<https://genially.com>) ist eine cloud-basierte Plattform zum Erstellen interaktiver Lernumgebungen und Präsentationen. Die Erstellung von Lernumgebungen kann mit einem kostenlosen Konto durchgeführt werden. Zur Benutzung der Lernumgebungen bedarf es grundsätzlich keiner Registrierung, sodass Schüler/innen über einen Link zu der Lernumgebung gelangen können.

Die hier vorgestellte Lernumgebung stellt interaktiv die Veränderung der Vorstellung über die Welt dar. Auf der Startseite findet sich eine kurze Anleitung zur Handhabung der Lernumgebung. Die Lernumgebung beginnt bei ARISTOTELES und präsentiert sukzessiv weitere Informationen bzw. Beobachtungen und neu formulierte Vorstellungen. Dabei werden die Ansichten und Erkenntnisse von ARISTOTELES, PTOLEMÄUS, KOPERNIKUS, DE BRAHE, KEPLER, GALILEI und NEWTON chronologisch dargestellt (Abb. 2).

Durch das sukzessive Öffnen der einzelnen Stationen wird (neben der zeitlichen Abfolge) visuell dargestellt, dass neue Vorstellungen stets aufeinander aufbauen und dass Ereignisse wie die Erfindung von neuen Messwerkzeugen und der Wandel von gesellschaftlichen Ansichten Einflüsse auf den Erkenntnisprozess haben können.

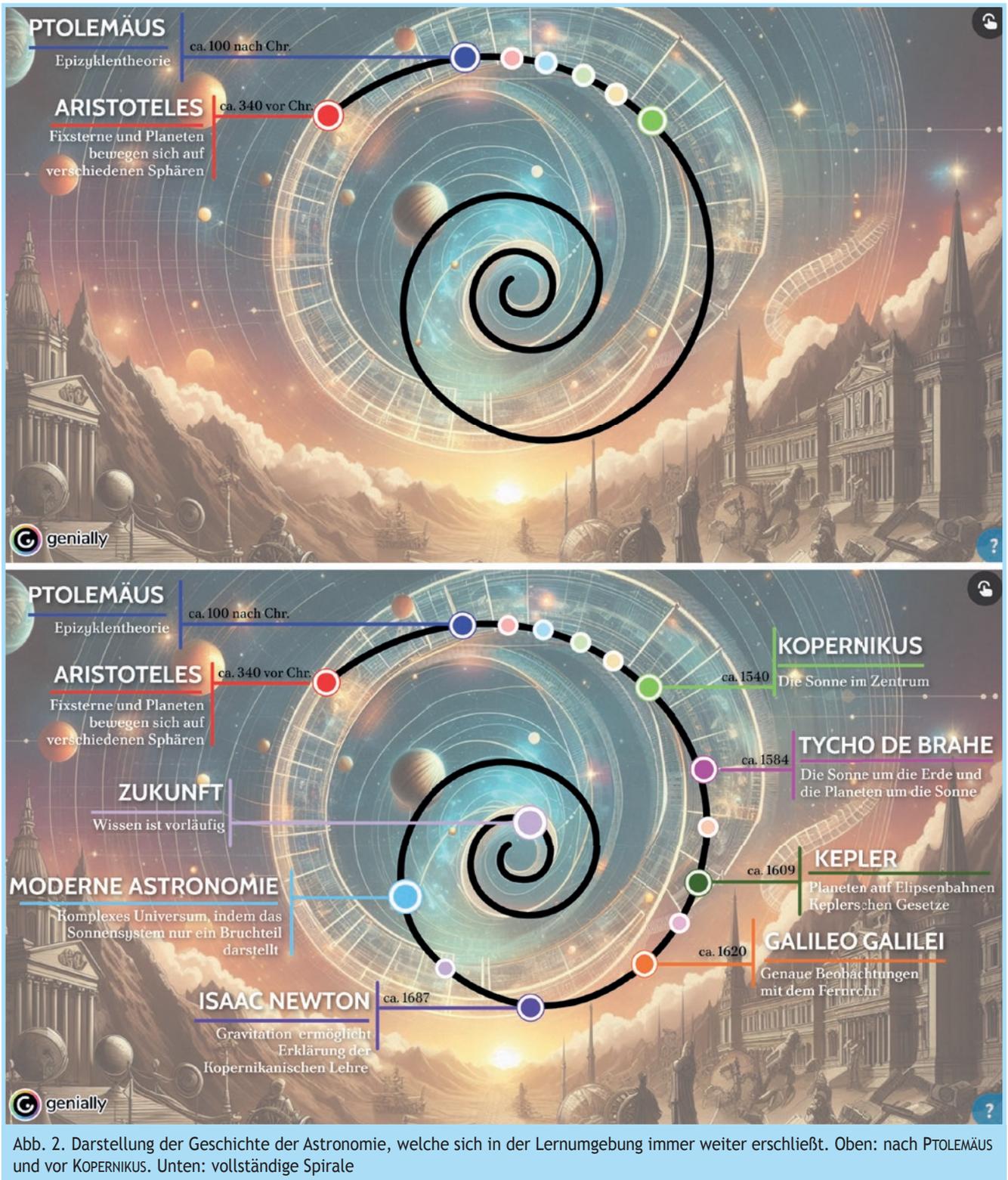


Abb. 2. Darstellung der Geschichte der Astronomie, welche sich in der Lernumgebung immer weiter erschließt. Oben: nach PTOLEMÄUS und vor KOPERNIKUS. Unten: vollständige Spirale

Neben Texten zu den einzelnen Stationen (bzw. Astronomen) werden Fotografien und Videos verwendet, um die Beobachtungen für die Lernenden persönlich nachvollziehbarer zu machen (Abb. 3). Zur Differenzierung bietet die Lernumgebung weiterführende Informationen (gekennzeichnet mit einem Plus-Ikon), die bei Interesse angeschaut werden können – aber nicht müssen. Neben der Version für Schüler/innen ist auch eine abgewandelte Version für Lehrkräfte verfügbar, welche direkt bei

der gefüllten Spirale beginnt und in der die Informationen nicht erst schrittweise aufgedeckt werden müssen.

Begleitend zur digitalen Lernumgebung gibt es ein *Arbeitsblatt*. Dieses dient der Sicherung wichtiger Stationen der Weltbilder und der expliziten Reflexion des Vorläufigkeitsaspekts (Kasten 1). In Aufgabe 3 des Arbeitsblatts werden Faktoren gesammelt, die zu einer Änderung der Vorstellungen geführt



Abb. 3. Beispielstation zu PTOLEMÄUS und seinem Weltbild

haben (z.B. neue Messwerkzeuge, sozio-kulturelle Ansichten, Fortschritte usw.), wobei diese Aspekte im zweiten Teil der Aufgabe generalisiert werden können. Anschließend wird eine Definition des *Vorläufigkeitsaspekts* angeführt. Die Schüler/innen sollen dann (in Aufgabe 4) Stellung zu der Aussage: „Heute wissen wir, wie das Universum aussieht“ nehmen. Hierbei geht es um die Reflexion über die Absicherung von Wissen (vor allem durch einen wissenschaftlichen Konsens).

Alle Materialien (digitale Lernumgebung, Information für Lehrkräfte und das Arbeitsblatt mit möglicher Lösung) sind online verfügbar (Abb. 4).



Abb. 4. Downloadmöglichkeit aller Materialien und Link auf die Lernumgebung (Homepage der Universität Paderborn)

4 Einbettung in den Unterricht

(Primäre) Ziele beim Einsatz von Lernumgebung und Arbeitsblatt im Unterricht sind, dass die Schüler/innen den Aspekt der

Vorläufigkeit von naturwissenschaftlichem Wissen am Beispiel der historischen Vorstellungen über das Universum erläutern, die verschiedenen Gründe für die Änderungen der Weltbilder reflektieren und die Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens im Allgemeinen diskutieren und bewerten können.

Die Lernumgebung eignet sich sowohl zum Einstieg als auch zur Vertiefung im Themenbereich Astronomie und Weltbilder der Sekundarstufe II, beispielsweise im Inhaltsfeld „Kreisbewegung, Gravitation und physikalische Weltbilder“ des Kernlehrplans NRW (MSB NRW, 2021, 28). Die KEPLERSchen Gesetze werden genannt und das NEWTONSche Gravitationsgesetz als Erklärung der KEPLERSchen Vorstellung herangezogen. Diese Inhalte könnten entweder im späteren Verlauf einer Unterrichtsreihe vertieft oder in ihrem historischen Kontext beleuchtet werden. Für die Bearbeitung der Arbeitsblätter und die Reflexion über Vorläufigkeit müssen die KEPLERSchen Gesetze jedoch fachlich nicht zwingend durchdrungen werden, sodass die Lernumgebung auch in der Mittelstufe eingesetzt werden kann.

Für die Bearbeitung der Lernumgebung und des Arbeitsblattes (inklusive Besprechung) werden etwa 2–3 Zeitstunden benötigt. Da das Durcharbeiten für die Schüler/innen konzentriertes Arbeiten voraussetzt, empfiehlt es sich, Pausen bzw. mehrere Unterrichtsstunden (je nach Zeitraster der Schule) einzuplanen oder Teile der Aufgaben als (vorbereitende) Hausaufgaben auszulagern. Außerdem bedarf es einer ausreichenden technischen Ausstattung. Die Umgebung kann am Tablet oder am Computer gleichermaßen bearbeitet werden. Da die Lernumgebung sehr viel eigenständiges Arbeiten der Schüler/innen verlangt und

Die Historie der Astronomie

„Heute wissen wir, wie das Universum aussieht!“



Aufgabe 1: Öffne über den QR-Code das Genially über die *Historie der Astronomie* und klicke dich durch die Lernumgebung hindurch. Bearbeite gleichzeitig Aufgabe 2.

Aufgabe 2: In der Lernumgebung wirst du in der Antike beginnen und durch die verschiedenen Vorstellungen der großen Astronomen bis zur heutigen Vorstellung geführt.

Fülle beim Durchklicken die folgende Tabelle stichpunktartig für jeden Astronom aus, notiere die wichtigsten Aspekte und Änderungen:

Astronom	Welche Vorstellung(en) hatte man vom Universum?	Welche Änderungen gab es zur vorherigen Vorstellung?
Aristoteles		
...		

Bearbeite die folgenden Seiten erst, wenn du das Genially durchgespielt hast!

Aufgabe 3a: Wieso hat sich die Vorstellung des Weltbildes in dem Genially - deiner Meinung nach - so oft geändert?

Aufgabe 3b: Fasse deine Ideen zusammen, indem du drei allgemeine Gründe nennst, die zu einer Änderung der Vorstellung geführt haben.

Aufgabe 4:

Vorläufigkeit:

Auch in den modernen Naturwissenschaften sind Erkenntnisse nicht endgültig (man sagt, sie sind „vorläufig“). Neue Daten oder eine neue Interpretation von Daten können dazu führen, dass Erkenntnisse geändert werden. Deshalb kann sich auch die Vorstellung von unserer Welt immer wieder verändern. Trotzdem versuchen Naturwissenschaftler:innen, sich möglichst sicher zu sein: sie tauschen sich aus, kontrollieren sich gegenseitig und halten sich an bestimmte etablierte Methoden. Erst wenn ein Konsens unter Naturwissenschaftler:innen besteht, kannst Du die Ergebnisse (z.B. in deinem Schulbuch) nachlesen.

Aufgabe 4a: Begründe nun, ob die Aussage oben „Heute wissen wir, wie das Universum aussieht!“ im Sinne der Naturwissenschaft korrekt ist. Erstelle dazu eine Pro- und Contra-Liste.

Aufgabe 4b: Recherchiere weitere Beispiele in den Naturwissenschaften, bei denen der Aspekt der Vorläufigkeit eine besondere Rolle spielt.

damit für einige Schülergruppen möglicherweise zu monoton werden kann, ist es alternativ auch denkbar, die einzelnen Weltbilder der Astronomen im *Rahmen eines Rollenspiels* zu sichern und zu diskutieren. Möglich wäre es beispielsweise, dass sich einzelne Schülergruppen jeweils mit einem Astronomen besonders auseinandersetzen und diesen in einem fiktiven Treffen mit einem (oder mehreren) anderen Astronomen verkörpern. So können zum einen die fachlichen Inhalte vertieft, aber auch Argumente mit den anderen Astronomen ausgetauscht werden, die zur Stärkung oder Veränderung des eigenen Weltbildes geführt haben. Beobachtende Schüler/innen könnten sich dann besonders auf die Gründe für oder gegen eine Veränderung der einzelnen Vorstellungen fokussieren.

Bevor die Schüler/innen (ggf. in Gruppen) selbstständig an der Lernumgebung arbeiten, sollte hervorgehoben werden, dass die Zusatzinformationen nicht gelesen werden müssen und es zu jedem Zeitpunkt die Möglichkeit gibt, auf vorherige Astronomen und Beobachtungen zurückzugehen. Beim späteren Besprechen der Aufgabe 2 auf dem Arbeitsblatt (Kasten 1) ist ein besonderer Fokus auf die Spalte mit den Veränderungen zu setzen. Hier kann es hilfreich sein, bei GALILEI und NEWTON darauf hinzuweisen, dass sich diese Astronomen einer vorherigen Vorstellung angeschlossen haben und „nur“ weitere Argumente für diese Vorstellung liefern konnten. Dies kann die Grundlage sein, um den Begriff des *wissenschaftlichen Konsenses* zu thematisieren: So hat GALILEI mit der unebenen Mondoberfläche einen Gegenbeweis für die antiken Vorstellungen von perfekten Kugeln erbracht und mit der Entdeckung der Jupitermonde einen weiteren Anhaltspunkt dafür geliefert, dass die Erde ebenfalls ein Planet ist (SIMONYI, 2001). NEWTON lieferte einen Gegenbeweis für die Epizykelvorstellung, da im Zentrum der Epizyklen keine Masse ist, welche die Planeten auf der Bahn hält, und ergänzt mithilfe der Gravitation eine mögliche Erklärung zu KEPLERS Vorstellung (SIMONYI, 2001). NEWTON und GALILEI schließen sich folglich KEPLERS Vorstellung an. Zusammen mit vielen weiteren Astronomen ergibt sich ein Meinungsbild von Fachleuten, bei dem es viele Gründe für die KEPLERSche Vorstellung gibt und damit ein Konsens entsteht.

Wichtig ist es, schlussendlich in der Diskussion über das Arbeitsblatt herauszustellen, dass jedes Wissen zunächst vorläufig ist und erst der Konsens einer Fachgemeinschaft neue Erkenntnisse zuverlässig macht.

5 Aus der Schulpraxis

Die vorgestellte Lernumgebung (inklusive des begleitenden Arbeitsblattes) wurde im Rahmen einer Projektwoche in einer 9. Klasse (N=21) eines Gymnasiums in NRW erprobt und auf Basis von Rückmeldungen der Lehrkräfte, Beobachtungen und Schüler/innen-Feedback (Kurzfragebögen) überarbeitet. Die Ergebnisse der Evaluation durch die Schüler/innen fielen insgesamt positiv aus. Besonders hervorgehoben wurden die Arbeitsform, die Lernumgebung und die Veranschaulichungen. Die kritischen Anmerkungen, beispielsweise hinsichtlich der Bedienung oder der Differenzierung, wurden aufgenommen

und bei der Überarbeitung der Lernumgebung berücksichtigt. In dem Kurzfragebogen wurde gefragt, was die Schüler/innen aus der Lernumgebung mitnehmen. Besonders häufig wurden astronomische Aspekte genannt, aber auch die Vorläufigkeit und der Konsens als Aspekte des naturwissenschaftlichen Wissens. Dies spiegelt sich auch in den Beobachtungsergebnissen wider: in der abschließenden Diskussion sprachen die Schüler/innen über die Vorläufigkeit und darüber, dass unterschiedliche Sichtweisen Einfluss auf den Erkenntnisprozess haben.

Trotzdem hat sich gezeigt, dass die Bearbeitung der gesamten Lernumgebung mit 2–3 Stunden insgesamt sehr lange dauert und für die Schüler/innen der 9. Klassen als anstrengend empfunden wurde. Ein Einsatz in (noch) jüngeren Altersklassen wird daher nicht empfohlen. Bei Mittelstufenschüler/innen oder schwächeren Klassen bietet es sich außerdem an, die Bearbeitung zu unterbrechen, beispielsweise zu Gunsten kürzerer Sicherungsphasen oder „Himmelsbeobachtungen“ (z.B. mit der App Stellarium (Stellarium Labs, 2025)) oder das Erarbeitungsformat (z.B. zur Vorbereitung eines Rollenspiels, s. o.) zu verändern.

6 Fazit

Mithilfe der vorgestellten digitalen Lernumgebung können Schüler/innen die historische Veränderung des Weltbildes eigenständig nachvollziehen. Die Schüler/innen erhalten ein authentisches Beispiel, an dem die Vorläufigkeit naturwissenschaftlichen Wissens explizit reflektiert werden kann. Außerdem bietet die Geschichte der Astronomie die Möglichkeit, die Absicherung von naturwissenschaftlichem Wissen mithilfe des wissenschaftlichen Konsenses zu diskutieren. Eine erste Evaluation zeigt, dass die Lernenden die Gestaltung der Lernumgebung als ansprechend und abwechslungsreich empfunden haben. Darüber hinaus deuten die Antworten in den Kurzfragebögen und die Unterrichtsbeobachtungen darauf hin, dass die Schüler/innen Wissen über Weltbilder mitnehmen und den Aspekt der Vorläufigkeit in Bezug auf naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinn reflektieren können. Kritische Aspekte bezüglich der technischen Umsetzung und der Durchführung der Lernumgebung konnten innerhalb einer ersten Evaluation ermittelt und überarbeitet werden, sodass nun eine optimierte Version der digitalen Lernumgebung und der Begleitmaterialien (Abb. 4) verfügbar ist. Wir freuen uns über Rückmeldungen von Lehrkräften, die die digitale Lernumgebung im Unterricht eingesetzt haben. Ihre Erfahrungen und Anregungen helfen uns, das Material weiterzuentwickeln. Gerne können Sie uns Ihr Feedback per E-Mail zukommen lassen.

Wir danken den Schüler/innen und Lehrkräften des Mauritiusgymnasiums in Büren für ihre Mitarbeit im Rahmen der Evaluation dieser Lernumgebung und LEANDER CLAES für die Bereitstellung von Astrofotografie-Bildern für die digitale Lernumgebung!

Die in der Lernumgebung verwendeten Hintergrundbilder (vgl. Abb. 2 und Abb. 3) sind KI-generiert und stellen keine realen Situationen oder Darstellungen dar.

Literatur

BILLION-KRAMER, T. (2021). *Nature of Science: Lernen über das Wesen der Naturwissenschaften*. Springer Fachmedien.

KAMPOURAKIS, K. (2018). Science and Uncertainty. *Science & Education*, 27(9), 829-830.

KUHN, W. (2016). *Ideengeschichte der Physik - Eine Analyse der Entwicklung der Physik im historischen Kontext*. Springer.

LEDERMAN, N. (2006). Syntax Of Nature Of Science Within Inquiry And Science Instruction. In L. B. FLICK, N. G. LEDERMAN (Hg.), *Scientific Inquiry and Nature of Science. Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education*. (S. 301-317). Springer.

Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2022). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Physik*. Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen.

MÜLLER, S. (2021). *Die Vorläufigkeit und soziokulturelle Eingebundenheit naturwissenschaftlicher Erkenntnisse: Kritische Reflexion, empirische Befunde und fachdidaktische Konsequenzen für die Chemielehrer*innenbildung*. Logos.

MÜLLER, S., & REINERS, C. (2022). Pre-service Chemistry Teachers' Views about the Tentative and Durable Nature of Scientific Knowledge. *Science & Education* 32(5), 1813-1845.

SIMONYI, K. (2001). *Kulturgeschichte der Physik Von den Anfängen bis heute*. Europa Lehrmittel.

Stellarium Labs (2025). Stellarium mobile. <https://stellarium-labs.com/> Zugriff: 25.01.2025.

VOLTMER, S. (2007). *Marsschleife*. Spektrum. <https://www.spektrum.de/alias/wunder-des-weltalls/marsschleife/2085492>. Zugriff: 18.11.2024.

KATJA CRAMER, katja.cramer@uni-paderborn.de, ist wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Arbeitsgruppe für Didaktik der Physik an der Universität Paderborn

YVONNE WEBERSEN, yvonne.webersen@uni-paderborn.de, ist Oberstudienrätin im Hochschuldienst in der Arbeitsgruppe für Didaktik der Physik an der Universität Paderborn ■