

Die Rolle der Beobachtung im Astronomieunterricht

- Eine Schulbuchanalyse -

Stefan Völker *

* AG Fachdidaktik der Physik und Astronomie, Max-Wien-Platz 1, 07743 Jena
stefan.voelker@uni-jena.de

Kurzfassung

In einer Schulbuchanalyse wurde in sieben gängigen Schulbüchern der Anteil an Abbildungen untersucht, welche astronomische Beobachtungen und authentische Beobachtungsergebnisse darstellen. Gerade der Anteil an quantitativen Beobachtungsergebnissen ist dabei in allen Büchern verschwindend gering. Diese Tatsache wird im Rahmen theoretischer Überlegungen über die Bedeutung der Beobachtung für den astronomischen Erkenntnisprozess und für den Astronomieunterricht diskutiert. Am Beispiel des zweiten keplerschen Gesetzes wird die Einbeziehung astronomischer Beobachtungsdaten in den Oberstufenunterricht exemplarisch aufgezeigt.

1. Experiment und Beobachtung im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess

Der naturwissenschaftliche Erkenntnisprozess wird häufig als eine Art Kreislauf mit den zentralen Bestandteilen Experiment, Theorie und Hypothese dargestellt (vgl. z.B. [1]). Darin spielt das Experiment eine wesentliche Rolle. Nachfolgend soll diskutiert werden, ob auch astronomische Beobachtungen diese Funktion erfüllen können – trotz des offensichtlichen Unterschieds, dass eine zielgerichtete Einflussnahme auf die zu untersuchende Objekte in der Astronomie nicht möglich ist. Nachfolgendes Zitat zeigt beispielhaft die Wahrnehmung dieses Unterschieds in der Fachwelt:

„Several years ago, there were claims of detected emission above 100 TeV from X-Ray binaries such as Cygnus X-3 and Hercules X-1. However, observations with current, more sensitive arrays have not revealed any further evidence. This does not imply that the earlier observations were incorrect – *this is an observational (as opposed to an experimental) science.*” [2, Hervorhebungen S.Völker]

Die Rolle der Beobachtung lässt sich in der Wissenschaftstheorie von Karl Popper begründen. Dieser formuliert vier Kriterien einer guten Theorie [3], nämlich:

- Falsifizierbarkeit,
- Beschränkungen an Beobachtung und Experiment,
- Einfachheit und Präzision, sowie
- Gewagtheit der Vorhersagen.

Diese Kriterien können von astronomischen Theorien erfüllt werden. Ein Beispiel ist das Eddington-Limit. Es sagt eine obere Massengrenze für Sterne voraus und setzt damit Beschränkungen an die

Beobachtung, denn schwerere Sterne sollten nicht zu beobachten sein. Hier zeigt sich auch gleichzeitig die Falsifizierbarkeit, bereits die Beobachtung eines Sterns oberhalb der Massengrenze würde die Theorie widerlegen. Dass astronomische Theorien gewagte Prognosen ermöglichen, hat sich in der Vergangenheit bereits mehrfach gezeigt, z.B. wurde der Planet Neptun zuerst theoretisch vorhergesagt und dann entdeckt. Weitere waren u.a. die Existenz von Neutronensternen, die Feinstruktur der kosmischen Hintergrundstrahlung oder die Lichtablenkung am Sonnenrand bzw. allgemein der Gravitationslinseneffekt.

Im Rahmen der Wissenschaftstheorie Poppers kann die Beobachtung die Funktion des Experiments im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess einnehmen, d.h. sie kann der Prüfstein, aber auch Quelle der Inspiration für neue Hypothesen sein. Zum Beispiel fungierte die astronomische Beobachtung als Testexperiment (vgl. [4]) im langwierigen Streit zwischen geo- und heliozentrischem Weltbild. Dieser ist durch die Beobachtung der Fixsternparallaxe entscheidbar. Diese Beobachtung stellt somit ein „experimentum crucis“ dar, welches eine der beiden Theorien falsifiziert. Technische Restriktionen können ein Testexperiment (zunächst) aber verhindern. So war die Beobachtung der Fixsternparallaxe zu Zeiten von Kopernikus, Galilei und Kepler technisch noch nicht möglich.

Auch heute findet man dies in allen Bereichen der Physik. Beispielsweise wurde die Existenz des Higgs-Teilchens bereits Mitte der 1960er Jahre vorhergesagt, konnte aber mit den zu diesem Zeitpunkt bestehenden Beschleunigern nicht überprüft bzw. widerlegt werden. Erst der Neubau des Large-Hadron-Colliders (LHC) am Cern in der Schweiz eröffnete die Möglichkeit für ein Testexperiment.

Die dargelegten Beispiele zeigen die große Bedeutung der Beobachtung für den Erkenntnisprozess der Astronomie. Im Popper'schen Sinne kann dadurch das Experiment gleichwertig ersetzt werden. Diese Einstellung wird auch von vielen professionellen Astronomen vertreten. Wie in [5] gezeigt wird, lassen sich in zahlreichen fachlichen Veröffentlichungen direkte und indirekte Bezüge zu den Arbeiten Poppers finden.

2. Experiment und Beobachtung im Unterricht

Im Physik-Unterricht wird nachweislich viel experimentiert (Ergebnis einer Videostudie [6]) und man wird auf dieser Weise der vielfältigen Funktion des Experiments für den Unterricht [7] und seiner Wichtigkeit im Erkenntnisprozess gerecht. Dies ist im Astronomie-Unterricht nicht der Fall, eigene Beobachtungen sind die Ausnahme. U. Backhaus [8] weist auf spezifische Probleme bei der Behandlung astronomischer Themen im Unterricht hin:

- „Die Untersuchungsgegenstände sind so weit entfernt und von so großen Ausmaßen, dass im Allgemeinen *naturwissenschaftliche Experimente*, also die gezielte Manipulation der untersuchten Objekte *nicht möglich* und die Menschen deshalb auf die Rolle passiver Beobachter beschränkt sind.
- Diese *Beobachtungen* können zum größten Teil *nur nachts* (also nicht zur Schulzeit) und mit komplexen Geräten (Teleskopen, Spektrometern, Raumsonden, Beschleunigern usw.) durchgeführt werden.
- Fast alle astronomischen Vorgänge laufen *sehr langsam* ab. Sie erfordern einen sehr langen Atem bei der Beobachtung und Aufzeichnung oder sehr indirekte Schlüsse, um ihrer Dynamik auf die Spur zu kommen.“ [8, Hervorhebungen S.Völker]

Dies zeigt die Schwierigkeiten eigener astronomischer Beobachtungen auf. Da aber, wie eingangs diskutiert, die Beobachtung für den astronomischen Erkenntnisprozess eine vergleichbar wesentliche Rolle spielt wie das Experiment für die Physik, muss die Beobachtung in anderer Form in den Unterricht eingebettet werden. Eine Möglichkeit hierzu sind Abbildungen in Schulbüchern. Ob dies der Fall ist, soll die nachfolgend vorgestellte Analyse zeigen.

3. Design der Schulbuchanalyse

Die Schulbuchanalyse soll das Vorkommen authentischer astronomischer Beobachtungen bzw. die Darstellung von Beobachtungsergebnissen in den Abbildungen sieben ausgewählter Schulbücher (vgl. Tabelle 1) untersuchen. Es handelt sich dabei um eine qualitative Partialanalyse, welche den Bestand und nicht die Defizite der Schulbücher untersucht (vgl. [9]). Methodisch orientiert sich die Analyse an der strukturierenden Inhaltsanalyse nach Mayring

[10]. Das zugrundeliegende Categoriesystem besteht aus fünf Kategorien:

- **Astrofotografie (AF):** Fotografische Aufnahme im visuellen Spektralbereich, die große Bereiche des Himmels zeigt.
- **Detailaufnahme (DA):** Fotografische Aufnahme, die kleine Winkelbereiche am Himmel zeigt, welche mit einem Teleskop aufgenommen wurde. Diese Kategorie enthält außerdem Spektren, im Sinne von Farbverlauf, und All-Sky-Aufnahmen.
- **Halbquantitatives Beobachtungsergebnis (HB):** Beobachtungsergebnisse werden dargestellt, allerdings ohne ausreichende Kennzeichnung der Koordinatenachsen oder des dargestellten Beobachtungsgegenstandes.
- **Quantitatives Beobachtungsergebnis (QB):** Beobachtungsergebnisse mit ausreichender Kennzeichnung der Koordinatenachsen und des Beobachtungsgegenstandes werden dargestellt.
- **Schematische Darstellung (SD):** Eine astronomische Beobachtung bzw. ein Beobachtungsergebnis ist durch eine Schemazeichnung ersetzt.

Abbildungen, die keinen Bezug zu astronomischen Beobachtungen haben (z.B. die Portraits bedeutender Astronomen), werden nicht vom Categoriesystem erfasst. Sie werden dennoch für die Angabe der Gesamtzahl aller Abbildungen eines Schulbuchs gezählt.

Nr.	Titel	Verlag	Einsatz
01	Astronomie – Gymnasiale Oberstufe	Duden PAETEC	Gymnasiale Oberstufe
02	Astrophysik	C.C. Buchner	Gymnasiale Oberstufe
03	Metzler Physik ¹	Schroedel	Gymnasiale Oberstufe
04	Astronomie – Basiswissen Schule	Duden PAETEC	Gymnasium (gesamt)
05	Astronomie SI	Duden PAETEC	Sekundarstufe I
06	Astronomie plus	Cornelson	Sekundarstufe I
07	Astronomie – Eine prakt. Wissenschaft	Duden PAETEC	Sekundarstufe I

Tab.1: Übersicht der untersuchten Schulbücher

¹ Es wurde nur das Kapitel 15 – „Astrophysik“ untersucht.

4. Ergebnisse und Interpretation der Schulbuchanalyse

Abbildung 1 zeigt die durchschnittliche Anzahl der Abbildungen pro Schulbuchseite. Der Mittelwert aller Bücher liegt bei etwa 1,8 Abbildungen pro Seite. Die Anzahl ist bei den Büchern für die Sekundarstufe I etwas höher als bei jenen für die gymnasiale Oberstufe.

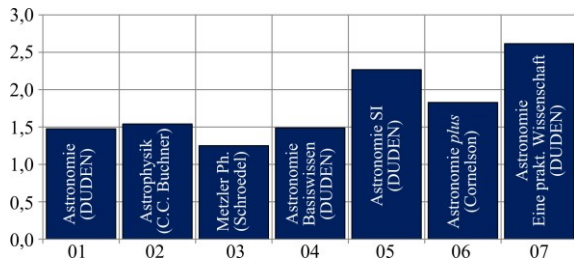


Abb.1: Durchschnittliche Anzahl Abbildungen pro Seite

Abbildung 2 zeigt den Anteil der Abbildungen mit Bezug zur astronomischen Beobachtungen (d.h. die vom Kategoriensystem erfassten Abbildungen) an der Gesamtzahl der Abbildungen eines Schulbuchs. Dieser liegt einheitlich bei ca. 40%, d.h. zwei von fünf Abbildungen haben einen Bezug zur Beobachtung. Nur Buch 03 „Metzler Physik“ zeigt einen höheren Anteil. Dies ist allerdings darauf zurückzuführen, dass astronomische Themen nur ein Kapitel des Buches ausmachen und die behandelten Inhalte stark eingeschränkt sind. Die Gesamtzahl der Abbildungen ist zudem deutlich geringer, so dass bereits eine Abbildung mehr oder weniger, welche vom Kategoriensystem erfasst wird, einen großen Einfluss auf die prozentuale Angabe hat.

Abbildung 3 zeigt den Anteil der kategorisierten Abbildungen an der Gesamtzahl der Abbildungen, aufgeschlüsselt nach Kategorie und Schulbuch.

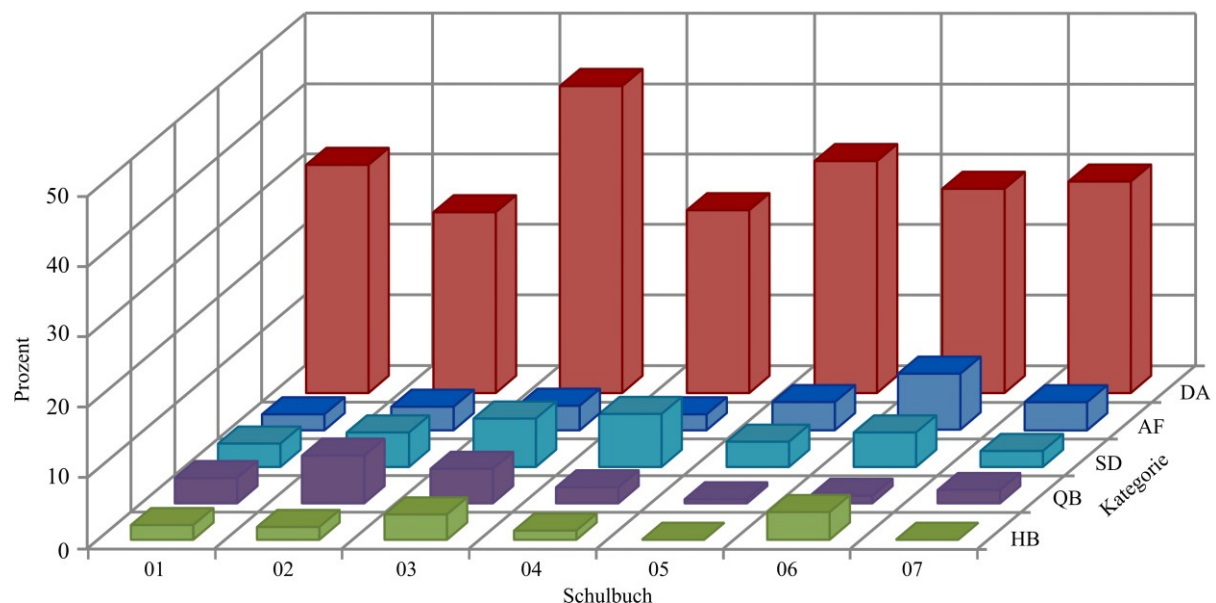


Abb.3: Anteil der kategorisierten Abbildungen an der Gesamtzahl der Abbildungen

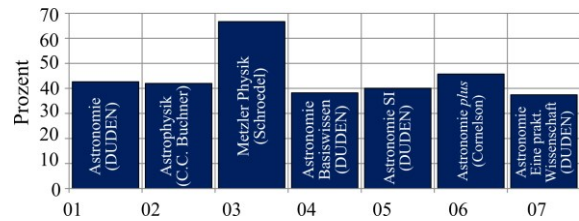


Abb.2: Anteil der Abbildungen mit Bezug zur astronomischen Beobachtung an der Gesamtzahl der Abbildungen

Auffällig ist der hohe Anteil der Detailaufnahmen, im Mittel ca. 31%. Alle anderen Kategorien kommen dagegen im Mittel auf weniger als 5%. In den drei Büchern für die gymnasiale Oberstufe (01, 02, 03) ist der Anteil an quantitativen Beobachtungsergebnissen höher als bei den Büchern für die Sekundarstufe I. Bei letzteren spielen diese praktisch keine Rolle. Beobachtungsergebnisse werden, wenn dargestellt, durch Schemazeichnungen (SD) ersetzt.

Detailaufnahmen, z.B. von den Planeten und Monden des Sonnensystems sind in den Schulbüchern dominant. Bei den untersuchten Büchern haben im Mittel 4 von 10 Abbildungen einen Bezug zur Beobachtung, wobei 3 von 10 Abbildungen eine Detailaufnahme zeigen. Durch den Mangel an quantitativen Beobachtungsergebnissen, können die vorhandenen Abbildungen in Schulbüchern die vielfältige Funktion der Beobachtung im astronomischen Erkenntnisprozess nicht adäquat wiedergeben. Ebenso kann das Potential der Beobachtung bzw. die Darstellung von Beobachtungsergebnissen im Unterricht nicht vollständig genutzt werden.

Nimmt man an, dass die Beobachtung prinzipiell die gleichen Funktionen für den Astronomie-Unterricht haben könnte wie das Experiment (vgl. [7]) für den Physik-Unterricht, stellt man schnell fest, dass dies in der Praxis kaum möglich sein wird. Mit den in den untersuchten Schulbüchern vorhandenen Abbil-

dungen kann „ein Phänomen gezeigt“, können „Denkanstöße gegeben“ oder „Schüler motiviert und deren Interesse geweckt“ werden. Viele Funktionen können dagegen nicht erfüllt werden: z.B. „Theoretische Aussagen prüfen“, „Gesetze quantitativ prüfen“ oder „naturwissenschaftlich arbeiten“. Diese müssen aber in den Astronomie-Unterricht integriert werden – vor allem in den gymnasialen Oberstufen-Unterricht, wie er in Thüringen oder Bayern angeboten wird. Die Schulbücher sind dafür nur bedingt geeignet, denn die Autoren greifen häufig auf schematische Darstellungen zurück. In diesen können astronomische Sachverhalte vereinfacht und für den Schüler geeignet aufbereitet werden. Neben der Authentizität geht dabei aber auch ein Teil der übertragbaren Information verloren. Durch die Idealisierung der Abbildungen kann der Schüler z.B. keinen Einblick in die Messgenauigkeit gewinnen. Die elementarisierte Abbildung hat selbstverständlich ihre Berechtigung in Schulbüchern. Unter dem Gesichtspunkt, dass eigene quantitative Beobachtungen (im Gegensatz zu quantitativen Experimenten im Physikunterricht) aber nur in Ausnahmefällen im Astronomie-Unterricht möglich sind (vgl. [8]), sollten Schülerbücher jedoch nicht gänzlich auf die Darstellung quantitativer Beobachtungsergebnisse verzichten.

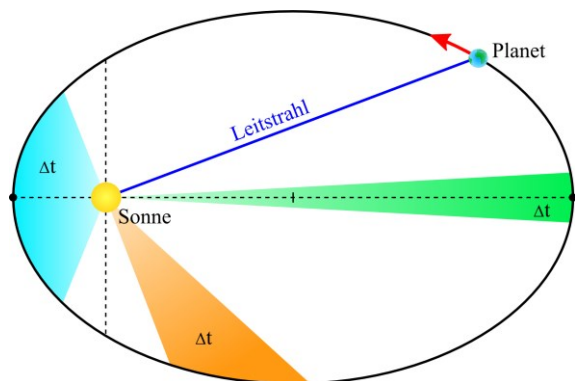


Abb.4: Typische schematische Darstellung des Flächensatzes für einen Planeten des Sonnensystems.

5. Ausblick: Projektarbeit mit astronomischen Beobachtungsdaten

Authentische astronomische Beobachtungsdaten sind zahlreich und leicht zugänglich im Internet vorhanden. Als Beispiele seien hier die ViZieR-Datenbank des Centre de Données astronomiques de Strasbourg, der WDS-Katalog des United States Naval Observatory, oder der PrePrint-Server arXiv.org genannt. Weiterhin verfügen zahlreiche Forschungsprojekte über eigene, öffentlich zugängliche Datenarchive, z.B. die beiden Exoplaneten-Missionen CoRoT und Kepler. Diese können im Unterricht im Rahmen von Projektarbeit genutzt werden und so typische schematische Darstellungen wie z.B. jene des zweiten keplerschen Gesetzes (vgl.

Abbildung 4) ergänzen. Während in Abbildung 4 die Exzentrizität der Planetenbahn stark überhöht dargestellt ist, zeigt Abbildung 5 die reale Doppelsternbahn von γ Virginis.

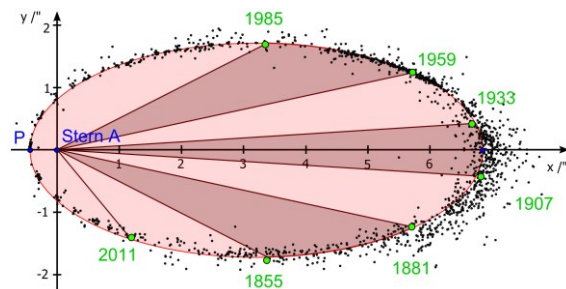


Abb.5: Doppelsternbahn von γ Virginis [11]

Einige der Beobachtungsdaten sind durch grüne Punkte hervorgehoben. Diese haben den einheitlichen zeitlichen Abstand von 26 Jahren. Die vom Leitstrahl in diesen Zeitintervallen überstrichenen Flächen können mit der kostenlosen Software GeoGebra² ausgemessen und anschließend verglichen werden (Abbildung 6). Eine detaillierte Projektbeschreibung findet man online [12] oder in [13].

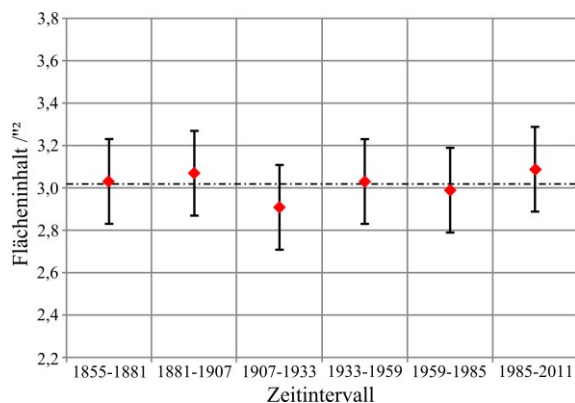


Abb.6: Auswertung des Flächensatzes für den Doppelstern γ Virginis

Abbildung 6 zeigt gleichzeitig, dass Messfehler auch wichtiger Bestandteil von Beobachtungsgrößen sind. Quantitative Beobachtungsergebnisse erhalten ihren Sinn erst durch die gleichzeitige Angabe der Messunsicherheit. Um deren Entstehung nachvollziehen zu können, ist eine Abbildung, wie jene von γ Virginis (Abb. 5), besser geeignet als eine schematische Darstellung (Abb. 4).

Weitere Beispiele für Schülerprojekte mit authentischen astronomischen Beobachtungsdaten sind in [12] zusammengestellt.

² GeoGebra - Dynamic Mathematics for Everyone - <http://www.geogebra.org/>

6. Literatur

- [1] Mikelskis-Seifert, Silke; Duit, Reinders (2010): PIKO-Brief Nr. 6 Naturwissenschaftliches Arbeiten. Url: www.ipn.uni-kiel.de/de/das-ipn/abteilungen/didaktik-der-physik/piko
- [2] High-Energy Gamma Ray Astronomy: Milagro detector. In: CERN Courier July/August 1994, S.23-24
- [3] Popper, Karl (1994): Logik der Forschung. 10.Auflage, J.C.B. Mohr, Tübingen
- [4] Pietschmann, Herbert (1996): Phänomenologie der Naturwissenschaft. Springer-Verlag Berlin, S.119
- [5] Sovacool, Benjamin (2005): Falsification and Demarcation in Astronomy and Cosmology. In: Bulletin of Science, Technology & Society, Vol. 25, No. 1, S.53-62
- [6] Tesch, Maïke; Reinders, Duit (2004): Experimentieren im Physikunterricht – Ergebnisse einer Videostudie. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Jg. 10, S.51-69
- [7] Girwirdz, Raimund (2009): Medien im Physikunterricht. In: Kircher E., Girwirdz R., Häußler P. (Hrsg.): Physikdidaktik in Theorie und Praxis, 2. Auflage, Springer-Verlag, S.245-249
- [8] Backhaus, Udo (2009): Astronomie im Physikunterricht. In: Kircher E., Girwirdz R., Häußler P. (Hrsg.): Physikdidaktik in Theorie und Praxis, 2. Auflage, Springer-Verlag, S.509-510
- [9] Weinbrenner, Peter (1995): Grundlagen und Methodenprobleme sozialwissenschaftlicher Schulbuchforschung. In: Olechowski, R. (Hrsg.): Schulbuchforschung, Peter Lang Europäischer Verlag
- [10] Mayring, Philipp (2010): Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken. 11. Auflage, Beltz-Verlag
- [11] Washington Double Star Catalog maintained at the U.S. Naval Observatory. Url: <http://www.usno.navy.mil/USNO/astrometry/optical-IR-prod/wds/WDS>
- [12] http://www.uni-jena.de/didaktik_physik_schuelerprojekte.html
- [13] Völker, Stefan (2013): Nachweis des Flächensatzes am Beispiel des visuellen Doppelsterns γ Virginis. In: Astronomie und Raumfahrt im Unterricht Jahrgang?, Heft 5, S.17-19