



Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

Astronomische Beobachtung im Bildungskontext

Konzeption einer astronomischen Führung zur
Transformation von Präkonzepten des Themenbereichs
„Teleskope und astronomische Beobachtung“ an der Dr.
Karl Remeis-Sternwarte Bamberg

Zulassungsarbeit für das erste Staatsexamen

Eingereicht von: Heiko Nagel

Matrikelnummer 22685991

Betreuerin: Prof. Dr. Manami Sasaki

Dr. Karl Remeis-Sternwarte | Sternwartstraße 7 | D-96049 Bamberg |
www.sternwarte.uni-erlangen.de

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit detailliert die Neukonzeption der Führungen der Dr. Karl Remeis-Sternwarte Bamberg mit speziellem Fokus auf der Beobachtung des Himmels. Sie stellt dabei das Zentrum für die Überlegungen aus fachwissenschaftlicher sowie didaktischer Perspektive dar. Daher werden die Geschichte und Theorie der Beobachtung des Himmels sowohl mit bloßem Auge als auch mit Messinstrumenten dargelegt, um eine Grundlage für die Inhalte und Experimente der Führung zu bilden. Darauf aufbauend werden Schülervorstellungen und didaktische Konzepte erkundet, die bei der Konzeption der Führung in die Gestaltung eingebunden wurden. Dadurch können die einzelnen Stationen, die auch unter Berücksichtigung der unvorhersehbaren pädagogischen Ausbildung und Fertigkeiten des Sternwartenspersonals entworfen wurden, sowohl fachphysikalisch als auch didaktisch begründet vorgestellt werden. Diese sind speziell darauf ausgelegt, durch geeignete Modelle, Veranschaulichungen und Analogien sowie interaktive Experimente Lernmotivation und -Effekt zu verbessern, während die historische Bedeutung der Sternwarte and in den passenden Situationen hervorgehoben wird. Durch den gleichwertigen Fokus auf Fachwissenschaft und Didaktik mit einer Einbettung in den historischen Kontext kann die Sternwarte bei einer Führung optimal als außerschulischer Lernort genutzt werden.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	I
Inhaltsverzeichnis	II
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VIII
Einleitung	IX
1 Astrophysikalischer Hintergrund	1
1.1 Beobachtung mit bloßem Auge	1
1.1.1 Sichtbarkeit von Himmelskörpern	2
1.2 Instrumente der Antike und vor-Teleskop-Ära	3
1.2.1 Koordinatensysteme	4
1.2.2 Teleskophalterungen	10
1.3 Erste Linsenteleskope	11
1.3.1 Funktionsweise des Teleskops	12
1.3.2 Refraktoren	14
1.4 Erste Spiegelteleskope	16
1.4.1 Reflektoren	17
1.4.2 Abbildungsfehler	19
1.5 Teleskope der Sternwarte Bamberg	25
1.6 Fotografie	28
1.6.1 Spektroskopie	29
1.6.2 Prozess einer astronomischen Fotoaufnahme	35
1.7 Lichtverschmutzung	47
1.8 Raumfahrt und Weltraumteleskope	48
2 Didaktisch-methodische Konzeption der Führung	51
2.1 Didaktisch-methodische Grundlagen	51
2.1.1 Präkonzepte	51
2.1.2 Didaktische Rekonstruktion	53

2.2	Konzeption der Führung	55
2.2.1	Zielsetzung	55
2.2.2	Schülerinnen und Schüler als Zielgruppe	56
2.2.3	Rahmenkonzept	62
2.2.4	Teleskope und Beobachtung als Schwerpunkt	63
2.3	Methodik und Umsetzung einzelner Stationen	63
2.3.1	Begrüßung vor der Sternwarte	63
2.3.2	Maßstabsgetreues Planetensystem	64
2.3.3	Meteoritenschaukasten	69
2.3.4	Astronomische Präzisionsuhr	69
2.3.5	Historische Instrumente im Museumsgang	71
2.3.6	Teleskopmodelle	72
2.3.7	Funktionsweise von Teleskopen	74
2.3.8	Teleskop in der Kuppel	74
3	Fazit und Schlussbetrachtung	77
3.1	Potenzial für den schulischen Unterricht	78
3.2	Desiderate und Ausblick	78
3.3	Einbettung in das Gesamtkonzept der Führung	79
	Literaturverzeichnis	80
	Anhang	87
	Erklärung zur Hausarbeit gemäß 29 (Abs.6) LPOI	92

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Kunstwerk „Timepiece“ von Wendy Taylor, eine funktionierende Sonnenuhr mit äquatorialem Ring. Der Schatten zeigt, dass es sich am Tag der Fotografie nicht um ein Äquinoktium handelt. (Ausschnitt nach GreenTea95, 2012)	4
Abbildung 2:	Gegenüberstellung von äquatorialem (links) und horizontalem (rechts) Koordinatensystem. Das äquatoriale System wurde gedreht, um den Blickwinkel eines Beobachters auf der Erdoberfläche zu verdeutlichen. (Szücs-Csillik und Poputa, 2015)	6
Abbildung 3:	Die Abbildung zeigt den physikalischen Strahlengang vom Gegenstand G über eine Sammellinse L_1 und eine Zerstreuungslinse L_2 mit den jeweiligen Brennweiten F_1 und F_2 in schwarz. In grau ist der Strahlengang des zum Zwischenbild B' sowie zum virtuellen Bild B dargestellt. (Neumann, 2012)	15
Abbildung 4:	Strahlengang im Kepler-Teleskop mit zwei Sammellinsen (1) und (2) und dazugehörigen Brennweiten f_1 und f_2 , was die Länge des Teleskops (7) bestimmt. Das Licht, welches vom Gegenstand (4) ausgeht trifft auf die Linse (1) und wird gebrochen, sodass innerhalb des Teleskops (7) ein Zwischenbild (5) entsteht. Durch die Linse (2) wird das Licht so gebrochen, dass der Beobachter (3) ein vergrößertes und um 180° gedrehtes Bild (6) sieht. Schmid, 2025	16
Abbildung 5:	Strahlengang im Newton-Teleskop mit parabolischem Objektiv- und ebenem Sekundärspiegel (LEIFiphysik, 2025)	18
Abbildung 6:	Cassegrain-Teleskop mit konkavem und konvexem Spiegel, (adaptiert nach Zinth und Zinth, 2018)	19

Abbildung 7: Effekt sphärischer Aberration, wodurch sich Strahlen mit unterschiedlicher Entfernung von der Optischen Achse in unterschiedlichen Entfernungen von der Linsenebene kreuzen. (w:de:Rainald62, 2020) 20

Abbildung 8: Vergleich des Beugungsmusters einer Punktquelle mit sphärischer Aberration (unten) und ohne sphärischer Aberration (oben). Links befindet sich das Bild außerhalb des Fokus des optischen Instruments, Rechts im Fokus. Die sphärische Aberration sorgt unten rechts dafür, dass der Rand des Beugungsmusters unschärfer erscheint, obwohl das Bild im Fokus ist. Unten links sind die Minima und Maxima außerhalb des Fokus klar getrennt, was ebenfalls an der Aberration liegt. (Ausschnitt nach Mdf, 2008) 21

Abbildung 9: Entstehung von Astigmatismus durch unterschiedliche Fokusslängen B_M und B_S in den zugehörigen Ebenen M und S.(Schmid, 2008 22

Abbildung 10: Astigmatismus bei der Abbildung einer Punktquelle, Mittig ist der Kreis kleinster Verwirrung zu sehen, links und rechts ist das Bild in Richtung der Fokusslängen der beiden Linsenachsen verschoben. (Kitchin, 2013) 22

Abbildung 11: Punktquelle ohne Abbildungsfehler (links) und Punktquelle mit Koma (rechts). (Strangelove, 2005) 23

Abbildung 12: Bildfeldwölbung der Objektivskala beim Blick durch ein Mikroskop. Die Mitte der Skala ist scharf, die Skala am Rand erscheint unscharf. (Dietzel, 2012) 23

Abbildung 13: Der Effekt von kissen- und tonnenförmiger Verzeichnung wie er bei einem Quadrat entsteht. (Bäcker, 2006) 24

Abbildung 14: Vergleich zwischen Fotos ohne chromatische Aberration (oben) und mit chromatischer Aberration (unten). Am rechten Bildrand ist besonders der blaue Verschub zu erkennen. (Zurek, 2006) 25

Abbildung 15: Das Ernst-Hartwig Teleskop in der Ostkuppel der Dr. Karl Remeis-Sternwarte (eigene Darstellung) 26

Abbildung 16: Schwarzkörperstrahlung nach dem Planck'schen Strahlungsgesetz für verschiedene Temperaturen in doppelt-logarithmischer Darstellung. In Gelb markiert ist das Spektrum für die Effektivtemperatur der Sonne, in Rot das eines Körpers auf nahezu Raumtemperatur (ca. 27°C) (Prog, 2017).	30
Abbildung 17: Spektrum des planetarischen Nebels NGC6445 im Infrarotbereich bis 40 μm . Die Emissionslinien sind nach ihrem Ursprung beschriftet (Hoof u. a., 2000).	34
Abbildung 18: Bayer-Matrix, wie sie auf dem Kamerasensor einer Farbkamera aufgebracht ist. Die Hälfte der Pixel ist grün, je ein Viertel ist rot und blau (Amada44, 2008).	37
Abbildung 19: Transparenz eines Filtersatzes der Sternwarte Bamberg in Abhängigkeit der Wellenlänge. Links sind Breitbandfilter für rotes, grünes und blaues Licht abgebildet, rechts die Schmalbandfilter für die Emissionslinien SII, H α und OIII (Remeis-Sternwarte, 2024)	38
Abbildung 20: Blasennebel (NGC7635), aufgenommen mit dem Hubble Space Telescope mit den Filtern OIII (502 nm), H α (657 nm) und NII (658 nm) (Falschfarbaufnahme) (ESA, 2016).	39
Abbildung 21: Master-Bias der C4-16000 Kamera, welche mit dem EHT der Dr. Karl Remeis-Sternwarte verwendet wird, aufgenommen bei ein Kameratemperatur von 0°C. Die Ausleselektronik des Kamerasensors lässt vier Quadranten entstehen (eigene Darstellung).	41
Abbildung 22: Master-Flat für Blaufilter der ASI6200mm Pro-Kamera des JRT der Dr. Karl Remeis-Sternwarte Bamberg. In den Ecken erkennbar sind Vignetting-Effekte, welche durch die optischen Elemente hervorgerufen werden, sowie dunkle Kreise, welche durch Schmutzpartikel auf den Spiegeln entstehen (eigene Darstellung).	42
Abbildung 23: Beugungsmuster der Bahtinov-Maske bei der Fokussierung mit einem Stern. Links ist das Teleskop leicht außerhalb des Fokus, rechts ist es perfekt fokussiert. (RoryG, 2011)	43

Abbildung 24: Orion-Nebel, aufgenommen mit dem JRT der Dr. Karl Remeis-Sternwarte Bamberg in RGB-Breitbandfiltern mit einer Gesamtbelichtungszeit von 7 h. Die Aufnahme ist mit linearen Pixelwerten dargestellt, wodurch nur das Zentrum des Nebels und die hellsten Sterne im Hintergrund sichtbar sind (eigene Darstellung). 45

Abbildung 25: Orion-Nebel, aufgenommen mit dem JRT der Dr. Karl Remeis-Sternwarte Bamberg in RGB Breitbandfiltern mit einer Gesamtbelichtungszeit von 7 h. Die Aufnahme ist gestreckt, sodass der gesamte Nebel sichtbar ist (eigene Darstellung). 45

Abbildung 26: Spektrum des Orion-Nebels für optische Wellenlängen. Die verschiedenen Emissionslinien sind farbig markiert (Ausschnitt nach Weillbacher u. a., 2015). 46

Abbildung 27: Absorptionsgrad elektromagnetischer Wellen der Erdatmosphäre in Prozent. Grau zeigt Absorption an, weiß Transmission. Der optische Wellenlängenbereich ist farblich markiert. (SEOS-Projekt) 49

Abbildung 28: Reflexionsgrad verschiedener Metalle bei senkrecht einfallender elektromagnetischer Strahlung verschiedener Wellenlängen: Rot entspricht Gold, Grau entspricht Silber und Blau entspricht Aluminium. (Mellish, 2005) 50

Abbildung 29: Darstellung des Sonnensystems mit stark fehlerhaften Größen- und Entfernungsverhältnissen. (Goruma, 2024) 59

Abbildung 30: Satellitenaufnahme der Dr. Karl Remeis-Sternwarte in Bamberg (Google LLC, 2025). Zusätzlich wurden die Abstände der inneren Planeten innerhalb des Gangs und auf dem Gelände gemäß des 1:3.5 Mrd.-Maßstabds markiert (eigene Darstellung). 66

Abbildung 31: Astronomische Präzisionspendeluhr „Ort IV“ im Foyer der Dr. Karl Remeis Sternwarte (eigene Darstellung). 70

Abbildung 32: Blinkkomparator im Museumsgang der Dr. Karl Remeis-Sternwarte Bamberg. Die Platten mit der Fotografie des Himmels werden von unten beleuchtet (eigene Darstellung). 72

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich der Kenngrößen des Ernst-Hartwig-Teleskops, Cuno-Hoffmeiser-Teleskops und Jürgen-Rahe-Teleskops der Sternwarte Bamberg. Einheitenlose Größen ergeben sich wie folgt: Lichtsammelvermögen als $\frac{\text{Objektivfläche}}{\text{Pupillenfläche}}$, minimale Vergrößerung als $\frac{\text{Objektidurchmesser}}{\text{Pupillendurchmesser}}$ und Vergrößerung als $\frac{\text{Objektivbrennweite}}{\text{Okularbrennweite}}$ 27

Tabelle 2: Maßstabsgetreue Größen und Entfernungen im Sonnensystem im Maßstab 1:3.5 Milliarden (Williams, 2025) 65

Tabelle 3: Maßstabsgetreue Größen und Entfernungen der Sonne, einiger Planeten des Sonnensystems und α Cen A im Maßstab 1:18 Milliarden für den Planetenweg (Williams, 2025) 68

Tabelle 4: Übersicht der Stationen der Führung an der Sternwarte. Die Stationen, die mit einem * markiert sind, sind in Billing, 2025 näher beschrieben 90

Einleitung

Stellenwert der Astronomie im Auge der Öffentlichkeit

Die Astronomie ist eine Wissenschaft die durch ihre Präsenz in der Öffentlichkeit enorm profitiert. Beispielsweise konnte das vielgerühmte James Webb Space Telescope nach Komplikationen bei der Konstruktion nur durch den Einsatz der Öffentlichkeit fertiggestellt und in Betrieb genommen werden und hat viele Fortschritte, z.B. im Bereich der Exoplanetenforschung, mit sich gebracht (vgl. Harris und Russo, 2015; Witze, 2022). Sogenannte „citizen science“ Projekte nehmen in ihrer Anzahl stetig zu und sind auch in der Astronomie nicht mehr wegzudenken. Sowohl die Zahl der Projekte als auch die der veröffentlichten Ergebnisse ist in diesem Zweig der Wissenschaft signifikant (vgl. Davis u. a., 2023). Diese Projekte beziehen sich auf verschiedenste Schwerpunkte, beispielsweise die Klassifizierung von variablen Sternen oder die Entdeckung von Exoplaneten, aber insbesondere auch die Untersuchung von Objekten innerhalb des Sonnensystems (vgl. Chandler u. a., 2024; Christy u. a., 2022; O’Conner Peluso u. a., 2023; Slipski u. a., 2024)

Während solche Projekte für Amateure sehr interessant sein können, formt die aktuelle Forschung in Physik und Astronomie auch die Lehrpläne an Schulen. Immer neuere und komplexere Themen, wie Quantentechnologie oder Dunkle Materie werden in den Unterricht integriert (vgl. Brang u. a., 2024; ISB, 2025a). Gleichzeitig gibt es große Unterschiede in den Vorstellungen, die Schülerinnen und Schüler von den Grundlagen der Physik und Astronomie haben, insbesondere im Vergleich zu gängigen Theorien der Fachwissenschaft (vgl. Loch und Ubben, 2023).

Die Astronomie als Teildisziplin verbindet dabei viele Aspekte weiterer Wissenschaften, wie Mathematik und Chemie aber auch praktischer technischer Anwendung in

der Entwicklung von Raketen und Teleskopen (vgl. Clausnitzer, 2021). Obwohl gerade dieser fächerübergreifende Aspekt zentrales Element von Lehrplänen ist, ist die Astronomie dort stark unterrepräsentiert. Beispielsweise sieht der Lehrplan am bayerischen Gymnasium, abgesehen von sechs Unterrichtsstunden in der elften Klasse, die Astronomie nur als Wahlfach während eines einzigen Schuljahres vor (vgl. ISB, 2025b).

Zielsetzung und Relevanz der Arbeit

In diesem Zusammenhang werden außerschulische Lernorte immer wieder diskutiert und erfreuen sich immer größerer Beliebtheit, nicht nur um mangelnde Unterrichtszeit zu kompensieren, sondern auch um affektiv-motivationale Konstrukte bei Schülerinnen und Schülern zu verbessern (vgl. Romanik und Wegner, 2025). Für die Astronomie ist eine Sternwarte mit aktiven Forschungsgruppen und historischer Bedeutsamkeit als solcher außerschulischer Lernort ideal. Auch die Dr.-Karl-Remeis Sternwarte zu Bamberg wird regelmäßig von Schulen kontaktiert um Wander- und Projekttage zu bereichern. Die Sternwarte bietet daher Führungen für alle Altersklassen an, welche nicht nur die Einrichtung und ihre Geschichte vorstellen, sondern auch Kernaspekte wissenschaftlicher, insbesondere astronomischer, Forschung vermitteln und die Besucher mit einem Blick durch das Teleskop daran teilhaben lassen. Die Neukonzeption dieser Führungen wurde mit zwei Schwerpunkten durchgeführt. Einer dieser Schwerpunkte ist der Prozess der astronomischen Forschung durch die Beobachtung des Himmels, welcher in der vorliegenden Arbeit betrachtet wird. Der zweite Schwerpunkt ist das Thema Gravitation, welches in der kollaborativen Arbeit „Die Physik des Himmels begreifen: Konzeption einer astronomischen Führung zur Transformation von Präkonzepten des Themenbereichs ‚Gravitation‘ an der Dr. Karl Remeis-Sternwarte Bamberg“ von Leonard Billing (Billing, 2025) detailliert wird. Für die Konzeption wird besonders auf die didaktischen Überlegungen eingegangen, um die Führung für Besucher aller Vorwissensniveaus, insbesondere Schülerinnen und Schüler zwischen zehn und 19 Jahren, zugänglich zu gestalten.

1 Astrophysikalischer Hintergrund

Bereits in der Antike besaßen Himmelskörper, insbesondere Sterne, eine zentrale Bedeutung, sei es zur Navigation oder zur Bestimmung von Jahreszeiten und Daten. Die Astronomie ist damit eine der ältesten Wissenschaften der Menschheit (vgl. Aaboe, 1974). Zentrale Methodik in dieser Wissenschaft ist seit jeher die Beobachtung des Nachthimmels. Begonnen mit der Beobachtung mit bloßem Auge als einziger Möglichkeit findet sie auch heute noch, aber mit ganz anderen Mitteln statt. Diese Entwicklung soll an dieser Stelle, besonders unter Verwendung des Werks von King, 1956 ergründet werden. Dabei wird insbesondere auch die Bedeutung für die moderne Astronomie, gestützt auf Literatur von Kitchin, 2013 erörtert.

1.1 Beobachtung mit bloßem Auge

Bereits die Babylonier und Ägypter gründeten vor mehr als 4000 Jahren ihre Kalender und Daten auf der Bewegung von Sternen und Planeten am Himmel. Selbst das Prinzip des Schaltjahres wurde bereits in der Antike angewandt, um Unstimmigkeiten zwischen einem einfach zu verwendenden Kalender und der tatsächlich Beobachtung zu vereinbaren. Im antiken Griechenland wurden mathematische Erkenntnisse von Philosophen wie Pythagoras oder Platon verwendet, um genauere Vorhersagen über den Sternenhimmel zu machen. Aus dieser Zeit stammen auch erste kosmologische Überlegungen, die zumeist geozentrischer Natur waren. Dennoch war beispielsweise Platon bewusst, dass ein solches Modell die Bewegungen von Planeten, wie sie von der Erde aus beobachtet und schon von den Babyloniern aufgezeichnet worden waren, nicht erklären kann.

Einer der wohl einflussreichsten Astronomen in vorchristlicher Zeit war Hipparchus

(ca. 190 v.Chr.-120 v.Chr.), welchem viele Erkenntnisse und Erfindungen zugeschrieben werden, wie etwa der erste Sternkatalog oder die ersten Ideen zur Magnitudenskala (vgl. King, 1956).

1.1.1 Sichtbarkeit von Himmelskörpern

Ob ein gegebenes Objekt sichtbar ist, hängt von mehreren Faktoren, z.B. ihrer Helligkeit oder der Position des Beobachters, ab. Unter Amateur-Astronomen unterscheidet man zwischen Sternen und sogenannten Deep-Sky-Objekten (vgl. Schaaf, 1998). Deep-Sky-Objekte sind dabei all jene, die keine einzelnen Sterne bzw. Sternsysteme sind, aber sich außerhalb des Sonnensystems befinden, womit die Planeten, Monde, Asteroiden und Kometen des Sonnensystems eine dritte Kategorie bilden. Bis auf Mond und Sonne sind alle Objekte am Himmel für das bloße Auge Punktquellen. Über Hipparchus wird berichtet, dass er einen Sternkatalog mit mehr als 800 Sternen erstellte, welche er nach ihrer Helligkeit beurteilte und mit Werten von eins bis sechs einteilte. Dieser Katalog hat auch auf das moderne Verständnis der sogenannten scheinbaren Helligkeit m Einfluss (vgl. Johnson und Morgan, 1953). Dabei handelt es sich um eine logarithmische Skala, die misst, wie hell ein jeweiliger Himmelskörper im Vergleich zu anderen Himmelskörpern ist. Sie wird in der Einheit Magnitude [mag] angegeben. Da sie eine Vergleichsgröße ist, wird die scheinbare Helligkeit als Differenz zwischen der Energie des einfallenden Lichtes zweier Himmelskörper verwendet und berechnet sich wie folgt:

$$\Delta m = -2.5 \log_{10}\left(\frac{\Phi_1}{\Phi_0}\right) \text{ mag} = m_1 - m_0 \quad (1.1)$$

Φ_1, Φ_0 bezeichnet hierbei den Fluss des Lichtes der jeweiligen verglichenen Himmelskörper. Zwei Objekte, von denen eines 100 mal heller erscheint als das andere haben einen Magnitudenunterschied von 5 mag. Um diese Skala allgemeingültig verwendbar zu machen wurde eine Anzahl an Sternen festgelegt, um einen Nullpunkt im Fachbereich der Fotometrie zu erhalten. Das Ergebnis lässt sich sehr gut auf den Stern Vega (α Lyrae) verallgemeinern, sodass dieser unter jedem Filtertypen (Ultraviolett, Blau und Gelb) einen den Magnitudenwert von 0 annimmt. Dabei erscheint er zwar nicht unter jedem Filter als gleich hell, jedoch ist die so kalibrierte Magnitudenskala sehr nah am antiken Helligkeitskatalog des Hipparchus (vgl. Carroll und Ostlie, 2017; Johnson und Morgan, 1953).

Je höher der Magnitudenwert, desto dunkler ist ein Himmelskörper. Mit bloßem Auge können Sterne mit weniger als 5.0 mag beobachtet werden. Unter besonders guten Umständen, also besonders wenig Atmosphärenbewegung und Lichtverschmutzung, sowie normalsichtigen Augen können auch Sterne bis 6.0 mag gesehen werden. Das Limit der dunkelsten sichtbaren scheinbaren Helligkeit für Teleskope, auch Grenzhelligkeit genannt, lässt sich mit folgender Formel berechnen:

$$m_{lim} = 16 + 5 \log_{10} D \quad (1.2)$$

Dabei ist D der Durchmesser des Teleskopobjektivs. Anzumerken ist, dass diese Formel als Magnitudenlimit für das menschliche Auge mit einem Pupillendurchmesser von ca. 7mm ein Limit von ca. 5.2 mag ergibt.

Während für Sterne die Betrachtung der scheinbaren Helligkeit ausreicht, um die Beobachtbarkeit zu überprüfen, ist für ausgedehnte Quellen, insbesondere aber Deep-Sky-Objekte die sogenannte Flächenhelligkeit D wichtiger als die scheinbare Helligkeit. Diese ist durch das Verhältnis der scheinbaren Helligkeit m des Objektes und dessen Winkelausdehnung F am Nachthimmel gegeben, die Einheit hierfür ist üblicherweise $\text{mag}/\text{arcsec}^2$ oder $\text{mag}/\text{arcmin}^2$:

$$D = m + 2.5 \log_{10} F \quad (1.3)$$

Der Grund hierfür ist, dass das im Teleskop gesammelte Licht über die Fläche des Objekts verteilt wird. Diese Flächenhelligkeit entspricht dabei der Austrittspupille, also der Fläche des sichtbaren Bildes im Teleskop. Ist nun die Austrittspupille kleiner als die Pupille des Auges, was bei hohen Vergrößerungen der Fall ist, so ist das gesamte Bild dunkler als mit dem bloßen Auge.

1.2 Instrumente der Antike und vor-Teleskop-Ära

Bereits im antiken Griechenland wurden Instrumente wie das Gnomon, ein Vertikal befestigter Stab mit bekannter Höhe, mit der der höchste Sonnenstand anhand des Verhältnisses zum Schatten bestimmt werden konnte, oder das Astrolabium, mit dessen Hilfe recht genaue Vorhersagen zur Bewegung von Planeten, des Mondes oder der Sonne gemacht werden konnten, verwendet.

Um die Genauigkeit von Vorhersagen und Messungen zu erhöhen führte der Astro-

nom Claudius Ptolemaeus um ca. 150 n.Chr. genauere Messinstrumente mit exakteren Skalen ein. Er wird als Begründer von Messinstrumenten wie dem Quadranten, aus dem sich in den folgenden Jahrhunderten auch der Oktant und Sextant entwickelten, aber auch dem sogenannten Triquetrum, mit welchem auch Kopernikus im 15. Jhd. arbeitete, genannt. Ptolemaeus soll mit seinen Instrumenten auch eine frühe Version des Gradnetzes der Erde mit Längen- und Breitengraden erfunden haben (vgl King, 1956).

1.2.1 Koordinatensysteme

Schon seit der Antike war bekannt, dass sich der sichtbare Himmel mit der Position auf der Erde ändert. Hipparchos ist unter anderem dafür bekannt, die Tag-Nacht-Gleiche, auch Äquinoktium, mithilfe eines äquatorialen Ringes bestimmt zu haben.



Abbildung 1: Kunstwerk „Timepiece“ von Wendy Taylor, eine funktionierende Sonnenuhr mit äquatorialem Ring. Der Schatten zeigt, dass es sich am Tag der Fotografie nicht um ein Äquinoktium handelt. (Ausschnitt nach GreenTea95, 2012)

Dieser Ring ist eine der einfachsten Darstellungen des äquatorialen und des horizontalen Koordinatensystems, welche auch heute noch von ungemeiner Wichtigkeit sind. Es handelt sich dabei um einen Ring, der so montiert ist, dass der Himmelsäquator daran ausgerichtet ist, gleichzeitig verläuft die gedachte Verbindungslinie zwischen

Himmelsnord und -südpol genau durch den Mittelpunkt dieses Kreises. Das Äquinoktium kann dann erkannt werden, wenn die obere Hälfte des Rings seinen Schatten genau auf die untere Hälfte des Rings wirft, während die Sonne scheint. Anders ausgedrückt ist der Schatten des äquatorialen Rings genau dann eine Gerade, wenn das Äquinoktium herrscht, an allen anderen Tagen wirft der Ring im Sonnenlicht einen elliptischen Schatten. Der Ring kann, wie in Abbildung 1, in andere Instrumente wie Sonnenuhren oder Armillarsphären integriert werden.

Äquatoriales Koordinatensystem

Das sogenannte äquatoriale Koordinatensystem orientiert sich am namensgebenden Himmelsäquator, welcher von der Rotationsachse der Erde abhängt und somit global konstant ist. Die Position von Himmelskörpern, ausgenommen denen innerhalb des Sonnensystems, ist aus Sicht eines Beobachters auf der Erde ebenfalls nahezu konstant. Aus diesem Grund kann das äquatoriale Koordinatensystem verwendet werden um die Position dieser Himmelskörper in sogenannten Sternen- und Nebelkatalogen verlässlich festzuhalten.

Die Koordinaten des äquatorialen Koordinatensystems sind als Winkelabstände definiert und werden als Deklination (δ oder DEC) und Rektaszension (α oder RA) bezeichnet.

Die Deklination ist der Winkelabstand zur Himmelsäquatorebene und kann Werte zwischen $\pm 90^\circ$ annehmen. Da für die Astronomie oft wesentlich genauere Positionen als der 360ste Teil eines Kreises benötigt werden, verwendet man zusätzlich zum Grad $^\circ$ auch Bogenminuten $'$ und Bogensekunde $''$. Dabei gilt $1' = \frac{1}{60}^\circ$ und $1'' = \frac{1}{60}'$. Die Nordhalbkugel ist mit positivem Vorzeichen gekennzeichnet, die Südhalbkugel mit negativem.

Die Rektaszension ist der linkshändige Winkelabstand zum sogenannten Frühlingspunkt auf dem Himmelsäquator und wird in Stunden (h), Minuten (m) und Sekunden (s) angegeben. Der Vollkreis besitzt genau 24 Stunden, eine Stunde entspricht also ca. 15° , $1m = \frac{1}{60}h$ und $1s = \frac{1}{60}m$. Der Frühlingspunkt ist als der Punkt definiert, an dem sich die Sonne am 21. März befindet. Eine Darstellung des äquatorialen Koordinatensystems ist in Abbildung 2 zu finden.

Stern- und Nebelkataloge sind trotz der Verwendung des äquatorialen Koordinatensystems nicht für immer gültig, müssen also datiert werden. Hierfür wird den Koordinaten DEC und RA die entsprechende Jahreszahl angehängt. Üblicherweise

wird die Position eines Objekts für den 1.1.2000 bestimmt.

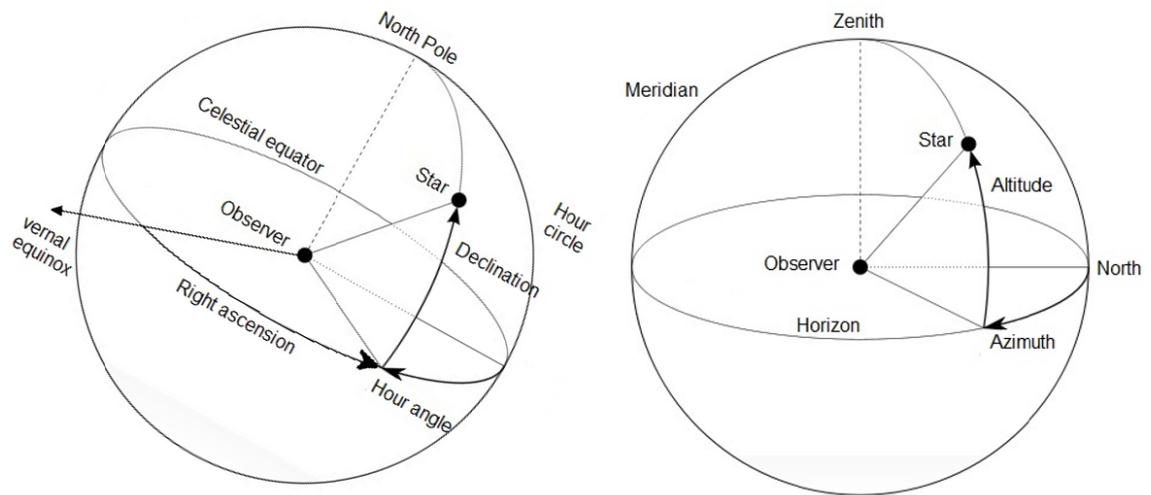


Abbildung 2: Gegenüberstellung von äquatorialem (links) und horizontalem (rechts) Koordinatensystem. Das äquatoriale System wurde gedreht, um den Blickwinkel eines Beobachters auf der Erdoberfläche zu verdeutlichen. (Szücs-Csillik und Poputa, 2015)

Einerseits besitzen astronomische Objekte eine tatsächliche Eigenbewegung, die ihre Position am Nachthimmel nach und nach verändert, welche in den Katalogen vermerkt wird. Andererseits verändert sich der Frühlingspunkt durch die Präzession der Erde. Sie sorgt dafür, dass der Frühlingspunkt mit einer Periode von 25 800 Jahren den Himmelsäquator durchläuft. Demnach ist es wichtig, dass Kataloge datiert werden, damit die Präzession der Erde und Eigenbewegung von astronomischen Objekten bei der Positionsbestimmung für eine Beobachtung mit einberechnet werden können. Diese Unstimmigkeiten sind zwar vorhanden, können aber bei der Verwendung von akkurat geführten Katalogen mit einberechnet werden, sodass auch Jahrzehnte alte Kataloge genutzt werden können (vgl. Kitchin, 2013).

Horizontales Koordinatensystem

Im Gegensatz zum äquatorialen System wird häufig auch das horizontale Koordinatensystem verwendet. Dieses orientiert sich am Horizont, der Linie im Blickfeld des Beobachters, an der sich Himmel und Erde zu berühren scheinen. Die zwei Punkte

im Lot direkt über und unter dem Beobachter, Zenit und Nadir, sind ebenfalls Referenzpunkte dieses Systems, sie sind durch den sogenannten Meridian verbunden. Das horizontale System funktioniert ähnlich dem Äquatorialen insofern dass zwei Winkelabstände verwendet werden. Diese werden hier als Azimuth (A) und Höhe (h) bezeichnet. Ein Azimut von 0° bezeichnet dabei die Richtung „Norden“ auf dem Horizont und stellt eine linkshändige Rotation dar. Die Höhe bezeichnet den Winkelabstand vom Horizont mit Werten zwischen -90 und 90° . Positive Werte zeigen eine Nähe zum Zenit an, negative eine Nähe zum Nadir.

Das horizontale Koordinatensystem ist sehr nützlich, um sich direkt am Himmel zu orientieren, da es sich dem eigenen Blickwinkel anpasst (siehe Abbildung 2). Um es mit Sternkatalogen verwenden zu können, muss man jedoch eine Koordinatentransformation vornehmen, wofür die eigene Position bekannt sein muss. Umgekehrt kann man aus bekannten äquatorialen Koordinaten und den Koordinaten eines Objekts am Himmel auch die eigene Position bestimmen, was die Navigation und Orientierung am Himmel möglich macht (vgl. Kitchin, 2013).

Koordinatentransformation

Mithilfe der Koordinaten kann ein Vektor berechnet werden, der, für das äquatoriale Koordinatensystem, vom Erdzentrum in Richtung des Objekts am Himmel zeigt.

$$\vec{r}_e = \left(\hat{e}_{eq1} \quad \hat{e}_{eq2} \quad \hat{e}_{eq3} \right) \cdot \begin{pmatrix} \cos(\alpha) \cos(\delta) \\ \sin(\alpha) \cos(\delta) \\ \sin(\delta) \end{pmatrix} \quad (1.4)$$

Im horizontalen System befindet sich die Basis des Vektors am Ort des Beobachters auf der Erdoberfläche.

$$\vec{r}_h = \left(\hat{e}_{hz1} \quad \hat{e}_{hz2} \quad \hat{e}_{hz3} \right) \cdot \begin{pmatrix} \cos(A) \cos(h) \\ \sin(A) \cos(h) \\ \sin(h) \end{pmatrix} \quad (1.5)$$

Um die Koordinaten nun von äquatorialen zum horizontalen System zu transformieren, wird zunächst eine Rotationsmatrix R_e benötigt, die die den äquatorialen

in den horizontalen Vektor überführt.

$$\vec{r}_h = R_e \cdot \vec{r}_e \quad (1.6)$$

Einsetzen der Vektoren 1.4 and 1.5 in 1.6 ergibt:

$$\begin{pmatrix} \cos(A) \cos(h) \\ \sin(A) \cos(h) \\ \sin(h) \end{pmatrix} = R_e \cdot \begin{pmatrix} \cos(\alpha) \cos(\delta) \\ \sin(\alpha) \cos(\delta) \\ \sin(\delta) \end{pmatrix} \quad (1.7)$$

Die Rotationsmatrix R_e lässt sich in ihre Komponenten R_x, R_y, R_z aufteilen, welche je eine Rotation um eine der (kartesischen) Achsen erlaubt. Sie sind durch den Längengrad λ und Breitengrad φ des Beobachters folgendermaßen definiert:

$$\vec{r}_h = R_e \cdot \vec{r}_e = R_x \cdot R_y \cdot R_z \cdot \vec{r}_e \quad (1.8)$$

$$R_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1.9)$$

$$R_y = \begin{pmatrix} \cos(90^\circ - \varphi) & 0 & -\sin(90^\circ - \varphi) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(90^\circ - \varphi) & 0 & \cos(90^\circ - \varphi) \end{pmatrix} \quad (1.10)$$

$$R_z = \begin{pmatrix} \cos(\theta + \lambda) & \sin(\theta + \lambda) & 0 \\ -\sin(\theta + \lambda) & \cos(\theta + \lambda) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1.11)$$

θ ist dabei der Erdrotationswinkel, d.h. die Anzahl Erdrotationen in $^\circ$ (mit 1 Rotation=360 $^\circ$), welcher per Definition entlang des Nullmeridians direkt gültig ist:

$$\theta = 360^\circ \cdot (0.7790572732640 + 1.00273781191135448 \cdot D_U) \quad (1.12)$$

D_u bezeichnet hier das modifizierte Julianische Datum, also die Anzahl Tage seit dem 1.1.2000 entsprechend der „Universal Time“ UT1.

Es basiert auf dem Julianischen Datum JD , der Anzahl der vergangenen Tage seit dem 1. Januar 4731 vor Christus.

$$D_u = JD - 2451545.0 \quad (1.13)$$

Für die Rotationsmatrix für einen anderen Längengrad als 0 muss nun der gültige Längengrad noch hinzuaddiert werden, weshalb sie den Term $(\theta + \lambda)$ enthält..

Um nun die horizontalen Koordinaten (A, h) für ein Himmelsobjekt an den äquatorialen Koordinaten (α, δ) , als Beobachter auf der Erdoberfläche an der Position (φ, λ) zu finden, muss die folgende Gleichung nach A bzw h umgestellt werden:

$$\vec{r}_h = \begin{pmatrix} \hat{e}_{hz1} & \hat{e}_{hz2} & \hat{e}_{hz3} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \cos(A) \cos(h) \\ \sin(A) \cos(h) \\ \sin(h) \end{pmatrix} = R_x \cdot R_y \cdot R_z \cdot \vec{r}_e = R_e \cdot \vec{r}_e \quad (1.14)$$

Nach A und h aufgelöst lässt sich dies vereinfachen zu:

$$h = \arcsin([R_e \cdot \vec{r}_e]_3) \quad (1.15)$$

$$A = \arctan\left(\frac{[R_e \cdot \vec{r}_e]_1}{[R_e \cdot \vec{r}_e]_2}\right) \quad (1.16)$$

Beispiel Koordinatentransformation

Zur Verdeutlichung soll hier einmal die Koordinaten des Sterns Sirius für den Standort der Dr. Karl-Reimeis Sternwarte in Bamberg am 21.03.2025 von ihrer äquatorialen Form zur horizontalen Form umgewandelt werden.

Sirius hat die äquatorialen Koordinaten RA2000=6h45m8.9s und DEC2000=-16°42'58". Die Sternwarte befindet sich bei $\lambda = 10^\circ 53' 22''$ O und $\varphi = 49^\circ 53' 06''$ N.

Das Julianische Datum zum 21.03.2025 beträgt $JD = 2460755.5$, wobei hier eine Uhrzeit von 0 Uhr, also Mitternacht angenommen wird. Damit ergibt sich ein Erdrotationswinkel von $\theta = 3325138.443^\circ \hat{=} 178.443^\circ$. Einsetzen dieser Werte in die Gleichungen Gleichung 1.15 und Gleichung 1.16 ergibt Koordinaten für Sirius von $h = -2^\circ 19' 24''$ und $A = 246^\circ 26' 55''$. Der Stern war also zu diesem Zeitpunkt nicht sichtbar, da er sich unterhalb der Horizontlinie befand.

1.2.2 Teleskophalterungen

Diese Koordinatensysteme spielen auch bei der Konstruktion von Teleskophalterungen eine Rolle. Man kann die Bewegung des Teleskops so anpassen, dass sie in dem einen oder anderen System geschieht, was die Handhabung für bestimmte Zwecke erleichtert. Man bezeichnet diese Montierungen als parallaktische bzw. äquatoriale Halterungen und azimutale Halterungen.

parallaktische Halterung

Die sogenannte parallaktische Halterung orientiert sich am äquatorialen Koordinatensystem. Eine der beiden Rotationsachsen, um die das Teleskop ausgerichtet wird, ist parallel zur Erdrotationsachse, sie ist also direkt zum Himmelsnord- bzw. Südpol gerichtet. Ihre Ausrichtung gibt die Rektaszension an. Die zweite Achse steht dazu senkrecht und wird dementsprechend für die Deklination verwendet.

Dieser Aufbau ist praktisch, da zur Beobachtung eines einzelnen Objektes während der gesamten Nacht, beispielsweise für die Langzeitbelichtung einer Fotografie, nur eine der Achsen mit konstanter Geschwindigkeit bewegt werden muss, um die Erdrotation auszugleichen. Zusätzlich rotiert das Teleskopbild nicht, da das Teleskop selbst in gleichem Maße wie das Himmelsobjekt bewegt wird.

Nachteilig bei einer solchen Halterung ist, dass sie für jeden Standpunkt eingestellt werden muss, da sich der Himmelspol für den Beobachter immer an einer anderen Stelle befindet. Zudem muss das Teleskop seitlich der Halterung angebracht werden, um die entsprechende Bewegung zu ermöglichen, was üblicherweise ein Gegengewicht erfordert, und bei der Überschreitung des südlichen Himmelsmeridians eines Objektes muss das Teleskop zwischen der sogenannten Ost- und Westlage umgeschwenkt werden, um zu verhindern dass das Teleskop (oder das Gegengewicht) an der Halterung anstößt, weshalb eine Beobachtung unterbrochen werden muss (vgl. Kitchin, 2013).

azimutale Halterung

Die azimutale Halterung ist entlang des horizontalen Koordinatensystems ausgerichtet, ähnlich wie ein Kamerastativ. Eine der zwei Rotationsachsen entspricht der Zenit-Nadir-Verbindung des Beobachters und beeinflusst die azimutale Ausrichtung

des Teleskops. Die zweite Achse wird für die Einstellung der Höhe verwendet. Vorteile einer azimutalen Halterung sind die einfache Bedienbarkeit und der einfachere Aufbau im Gegensatz zur parallaktischen Halterung, da das Teleskop direkt auf der Halterung angebracht wird und somit kein Gegengewicht benötigt. Dadurch sind azimutale Halterungen im allgemeinen auch Tragfähiger.

Problematisch für die Beobachtung, besonders für die Fotografie ist hingegen, dass beide Achsen mit jeweils variablen Geschwindigkeiten bewegt werden müssen, während sich die Himmelskugel über dem Beobachter bewegt. Bei großen Teleskopen and Sternwarten ist soetwas mithilfe computergesteuerter Motoren realisierbar. Für die Hobbyastronomie ist dies hingegen nur schwer umsetzbar. Weiterhin dreht sich das Gesichtsfeld des Teleskops nicht zusammen mit dem Himmel, weshalb eine Kamera oder andere Geräte passend rotiert werden müssen, um ein verwendbares Ergebnis zu liefern (vgl. Kitchin, 2013).

1.3 Erste Linsenteleskope

Während die Entwicklung des von Messinstrumenten zur Bestimmung von Winkeln und Messung von Sternbewegungen über die Zeit stetig voranschritt, geschah die Entwicklung von Teleskopen rasant. Die Eigenschaften von verschiedenen Materialien, Licht zu beeinflussen und zu brechen war ebenfalls seit der Antike bekannt, wurde aber erst im 13. Jhd. von Roger Bacon und seinen Zeitgenossen in wissenschaftlichem Kontext erforscht. Er ist einer der Ersten, der linsenartige Konstrukte und deren lichtbrechende Eigenschaften beschreibt (vgl. Burke, R.B., Bacon, R., 1928).

Nach dieser Zeit dauerte es noch etwa 200-300 Jahre bis das Teleskop erfunden wurde. Diese Entwicklung revolutionierte die Wissenschaft der Astronomie, da damit erstmals höhere Auflösungen des Sternhimmels möglich wurden, als mit dem bloßen Auge. Der Erfinder des Teleskops ist nicht eindeutig geklärt. Einige Berichte schreiben die Erfindung dem Engländer Leonard Digges im späten 16. Jhd. zu. Er soll lediglich zwei Linsen oder einen sphärischen Spiegel in Verbindung mit einer Linse zur Vergrößerung von Objekten verwendet haben, jedoch nicht zum Zwecke der Astronomie. Während Digges explizite Experimente auf Basis von Bacons Erkenntnissen durchgeführt haben soll, heißt es dass der niederländische Brillenmacher Hans Lippershey die vergrößernde Eigenschaft zweier Linsen zufällig beim Spiel von

Kindern beobachtet habe. Allerdings hat Lippershey ein Patent auf ein tatsächliches Teleskop im Jahr 1608 anmelden wollen, wohingegen es bei Digges lediglich Überlieferungen von nahestehenden Personen wie seinem Sohn Thomas gibt, und keine Baupläne oder ähnliche konkrete Details überliefert sind.

Wem auch immer die Erfindung des Teleskopes zugeschrieben wird, es ist unumstritten dass die Astronomen Johannes Kepler und Galileo Galilei das Prinzip des Teleskops für die Astronomie verwendeten und soweit präzisierten, dass die beiden Grundformen des Linsenteleskops, nach diesen beiden Personen benannt sind: das Kepler- und das Galilei-Teleskop (vgl. Biagioli, 2019; Kepler und Larsen, 2025; King, 1956).

1.3.1 Funktionsweise des Teleskops

Ein Teleskop ist, im einfachsten Fall eine Anordnung von zwei optischen Bauelementen, egal ob Linse oder Spiegel, sodass das Licht von beiden Elementen verändert wird. Die ersten Teleskope, wie das Kepler- oder Galilei-Teleskop sind genau so aufgebaut. Moderne Bauweisen implementieren zusätzliche Bauteile wie Korrekturlinsen, zusätzliche Spiegel oder mehrlinsige Okulare um das Bild zu verbessern.

Wie in beispielsweise Abbildung 4 und Abbildung 5 dargestellt, wird das Licht zunächst von einer Sammellinse oder einem Konkavspiegel, dem Objektiv, in einem Brennpunkt mit Brennweite f_1 gebündelt. Anschließend wird dieses Bild mit einem Okular mit Brennweite f_2 beobachtet. Die Vergrößerung V des Objektes wird dabei durch die Brennweiten bestimmt:

$$V = \frac{f_1}{f_2} \tag{1.17}$$

Diese Vergrößerung ist dabei auf den Durchmesser eines Objekts bezogen, nicht auf die Fläche.

Um Objekte zu beobachten ist neben der Vergrößerung auch das Gesichtsfeld bzw. das „Field of View“ des Teleskops eine wichtige Information. Dieses ist zwar direkt von der Vergrößerung abhängig, bezieht sich aber ebenso auf das Gesichtsfeld des verwendeten Okulars. Während die Bauart des Okulars einfluss auf dessen Gesichtsfeld hat, sind diese üblicherweise vom Hersteller angegeben, weshalb hier auf die verschiedenen Bauweisen nicht eingegangen wird. Das Gesichtsfeld des Teleskops ist

dann der Quotient aus Gesichtsfeld des Okulars und Vergrößerung:

$$FOV_T = \frac{FOV_O}{V} \quad (1.18)$$

Genau wie die Vergrößerung bezieht sich das Gesichtsfeld auf den Durchmesser, nicht die Fläche. Das Gesichtsfeld des Okulars liegt dabei oft zwischen 40° und 70° , bei höheren Werten spricht man von Weitwinkelokularen (siehe Lutz, 2017). Verwendet man beispielsweise ein Okular mit einem Gesichtsfeld von 50° und ein Teleskop, sodass die Vergrößerung 100 beträgt, so spannt das tatsächliche Gesichtsfeld 0.5° . Das entspricht in etwa der Winkelausdehnung des Mondes (vgl. Williams, 2025, so dass dieser das gesamte Gesichtsfeld ausfüllen, aber gleichzeitig vollständig sichtbar wäre).

Eine weitere essentielle Kenngröße eines Teleskops ist der Objektivdurchmesser d bzw. die Objektivfläche $\pi d^2/4$, da diese bestimmt, wie viel Licht in das Teleskop fallen kann. Je mehr Licht das Teleskop einfängt, desto dunklere Objekte können damit beobachtet werden. Um Teleskope einordnen zu können, verwendet man das „Lichtsammelvermögen“ als Kenngröße, welche sich als Verhältnis aus Objektivfläche des Teleskops und Pupillenfläche des Auges berechnet:

$$G = \frac{\pi d^2/4}{\pi \cdot 0.007^2/4} = \frac{d^2}{0.007^2} \quad (1.19)$$

Hier wird ein Pupillendurchmesser von 7 mm für dunkeladaptierte Augen verwendet (vgl. Kitchin, 2013).

Der Objektivdurchmesser bestimmt auch die sogenannte Austrittspupille, die Größe des Bildes, das das Teleskop erzeugt. Diese ist durch folgende Formel gegeben:

$$d_{ap} = \frac{df_1}{f_1 + f_2} \approx \frac{df_1}{f_2} = \frac{d}{V} \quad (1.20)$$

Nur wenn die Austrittspupille kleiner als die Pupille des Auges ist, kann das Bild scharf und mit vollständiger Helligkeit gesehen werden. Da das Auge eine Pupille von ca. 7 mm Durchmesser hat, hat ein Teleskop eine minimale Vergrößerung, die sich wie folgt berechnet:

$$V_{min} = \frac{d}{0.007 \text{ m}} \approx 140d \quad (1.21)$$

Zudem ist der Objektivdurchmesser relevant für das Auflösungsvermögen des Teleskops, also ob zwei beobachtete Lichtquellen voneinander unterschieden werden

können. Das Auflösungsvermögen Θ ist üblicherweise als Winkel in Bogensekunden angegeben und hängt neben dem Objektivdurchmesser d auch von der Wellenlänge λ des Lichts ab, da unterschiedliche Wellenlängen unterschiedlich gebrochen/reflektiert werden. Es wird berechnet als:

$$\Theta = 1.22 \cdot 206\,265 \frac{\lambda}{d} ["] \quad (1.22)$$

Hierbei ist $1 \text{ rad} = 3600 \cdot 180/\pi = 206\,265''$ die Anzahl der Bogensekunden. Um weiter Beugungseffekte bei einem kreisförmigen Objektiv zu beachten, wird der Wert mit 1.22 multipliziert. Dieser Faktor folgt aus den Bessel'schen Differentialgleichungen, welche die Beugungsmuster bei Teleskopen beschreiben (vgl. Hanslmeier, 2020), die an dieser Stelle nicht näher erläutert werden sollen.

Das Seeing

Es sei an dieser Stelle erwähnt, das bei erdgebundener Beobachtung, besonders an Observatorien, die Auflösung in der Regel nicht durch das Teleskop beschränkt wird. Die Bewegungen der Erdatmosphäre, selbst bei Windstille, sorgen für Inhomogenität derselben, sodass Licht nicht ungestört auf den Erdboden (oder Teleskope) trifft. Dies nennt man „Seeing“. Durch diese ständigen Bewegungen trifft also das Licht einer Punktquelle, bei realistischen Belichtungszeiten, nicht punktförmig auf, sondern in einer bestimmten Fläche, wodurch das Auflösungsvermögen vermindert wird. Man kann Seeing bereits mit bloßem Auge wahrnehmen, man sieht die Sterne „funckeln“. Je nach Standort variiert die Auflösung durch Seeing, beträgt sich aber im Allgemeinen ca. $1''$ - $2''$ (vgl. Kitchin, 2013).

Mithilfe von Gleichung 1.22 sieht man, dass dieses Limit, je nach Wellenlänge, bereits mit Teleskopöffnungen von ca. 10-15 cm erreicht wird. Größere Teleskope werden an Observatorien hauptsächlich für höheres Lichtsammelvermögen verwendet.

1.3.2 Refraktoren

Während sie die ersten weit verbreiteten Teleskoparten der Geschichte sind, sind Linsenteleskope aufgrund ihrer Limitationen für aktive Forschung nicht mehr zeitgemäß, aber in der Hobby-Astronomie noch häufig in Verwendung. Als Grundformen

unterscheidet man üblicherweise zwischen Galilei- und Kepler-Refraktoren.

Galilei-Teleskop

Das Galilei-Fernrohr ist ein Zwei-Linsen-Teleskop, das aus einer Sammellinse als Objektiv und einer Zerstreuungslinse als Okular besteht. Die Linsen befinden sich in einem Abstand, der der Differenz ihrer Brennweiten entspricht, sodass die Brennpunkte in einem Ort zusammenfallen. Dadurch fällt ein (nahezu) paralleles Strahlenbündel in das Auge des Betrachters und das beobachtete Objekt erscheint scharf.

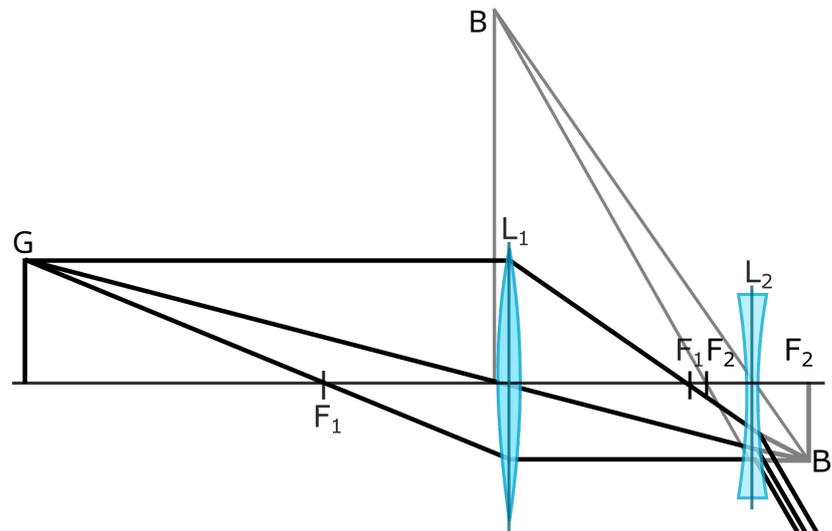


Abbildung 3: Die Abbildung zeigt den physikalischen Strahlengang vom Gegenstand G über eine Sammellinse L_1 und eine Zerstreuungslinse L_2 mit den jeweiligen Brennweiten F_1 und F_2 in schwarz. In grau ist der Strahlengang des zum Zwischenbild B' sowie zum virtuellen Bild B dargestellt. (Neumann, 2012)

Wie der Strahlengang in Abbildung 3 verdeutlicht, ist das erzeugte Bild nicht nur vergrößert sondern auch aufrecht und seitenrichtig.

Kepler-Teleskop

Das Kepler-Teleskop ist ebenfalls ein Zwei-Linsen-Teleskop, besteht aber aus zwei Sammellinsen. Diese sind mit einem Abstand der Summe ihrer Brennweiten voneinander entfernt, damit ein (nahezu) paralleles Strahlenbündel entsteht.

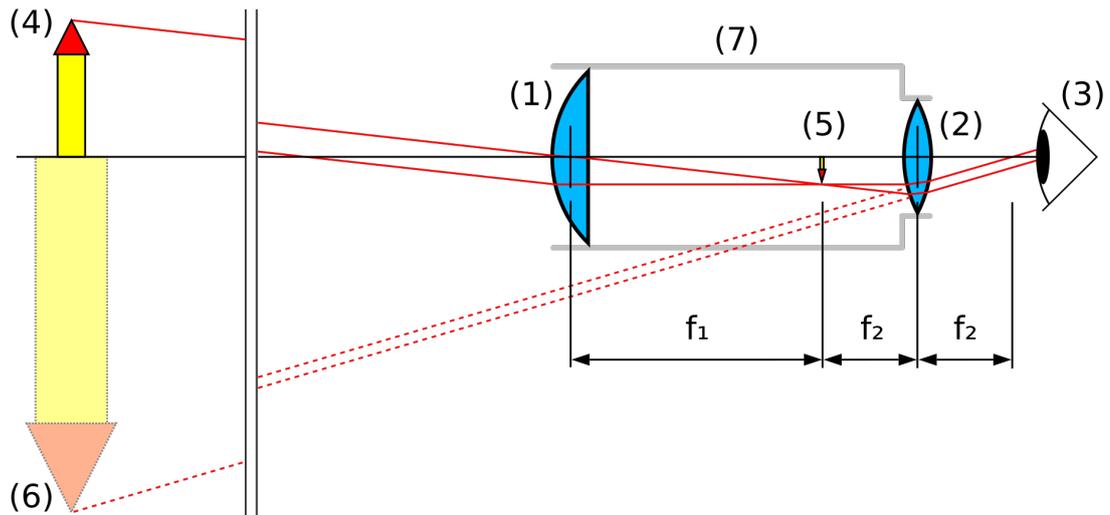


Abbildung 4: Strahlengang im Kepler-Teleskop mit zwei Sammellinsen (1) und (2) und dazugehörigen Brennweiten f_1 und f_2 , was die Länge des Teleskops (7) bestimmt. Das Licht, welches vom Gegenstand (4) ausgeht trifft auf die Linse (1) und wird gebrochen, sodass innerhalb des Teleskops (7) ein Zwischenbild (5) entsteht. Durch die Linse (2) wird das Licht so gebrochen, dass der Beobachter (3) ein vergrößertes und um 180° gedrehtes Bild (6) sieht. Schmid, 2025

Beim Kepler-Teleskop entsteht, wie in Abbildung 4 zu sehen, ein um 180° gedrehtes Bild, was in der Astronomie aber selten von Belang ist, da Objekte oft ohne räumlichen Kontext beobachtet werden und ihre Ausrichtung ohnehin von der Position des Beobachters auf der Erde abhängt.

1.4 Erste Spiegelteleskope

Bereits wenige Jahre nach der Entwicklung des Refraktors wurden die Schwächen der Konstruktion, insbesondere Abbildungsfehler wie sphärische und chromatische

Aberration deutlich. Die Lösung in Form von asphärischen und dünneren Linsen war auf theoretischer Basis leicht gegeben, wie bereits René Descartes in seinem Werk „Dioptrique“ um 1637 zeigt (vgl. Descartes, 1637). Dennoch wurden auch Ideen für Teleskope mit spiegelnden Elementen, Reflektoren, erforscht. Im vorherigen Jahr 1636 theoretisierte Marin Mersenne eine Bauform, wie wir sie heute als Cassegrain-Teleskop kennen, setzte sie allerdings nicht praktisch um (vgl. King, 1956).

32 Jahre später stellte Isaac Newton, im Zuge seiner Studien zur Dispersion des Lichts und der damit verbundenen detaillierung chromatischer Aberration, das erste Spiegelteleskop her. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass James Gregory bereits fünf Jahre zuvor mit Spiegeln experimentierte, um die Ergebnisse eines Teleskops zu erzielen, aber aufgrund mangelnder Materialqualität die Ergebnisse bis nach Newtons Erfindung ausblieben.

1.4.1 Reflektoren

Spiegelteleskope sind für aktive Forschung wesentlich relevanter als Refraktoren, da die verwendeten Spiegel oft leichter und einfacher herzustellen sind als äquivalente Linsen, insbesondere wenn große Teleskope gebaut werden. Linsen sind einerseits aufgrund ihrer Dicke schwer im Vergleich zu Spiegeln, andererseits müssen Halterungen die Linsen immer am Rand befestigen, da das Licht hindurch gelangen muss. Diese Eigenschaft limitiert die möglichen Aufbauten und Größe von Linsenteleskopen. Spiegel sind dagegen auf dünnen Platten oder flexiblen Folien befestigt, die auch von hinten gestützt werden können, weshalb Spiegel größere Teleskope mit komplexeren Aufbauten ermöglichen.

Hier soll der Fokus dennoch auf einfachere Reflektorsysteme, namentlich das Newton'sche und Cassegrain-Teleskop, gelegt werden, da diese für die Nutzung an Sternwarten relevant sind.

Newton-Teleskop

Da ein Spiegel das Licht reflektiert, befindet sich der Fokuspunkt auf der gleichen Seite des Instruments wie das einfallende Licht. Um eine Beobachtung am Teleskop zu ermöglichen, ohne das einfallende Licht zu blockieren, muss das reflektierte Licht noch einmal umgelenkt werden. Nur bei den größten Spiegelteleskopen mit einem Spiegeldurchmesser von mehreren Metern kann man auswertende Instrumente vor

dem Spiegel anbringen, ohne zu viel Licht zu verlieren.

Aus diesem Grund besteht das von Newton konstruierte Teleskop nicht nur aus Objektiv(spiegel) und Okular sondern besitzt einen Sekundärspiegel, wie in Abbildung 5 erkennbar.

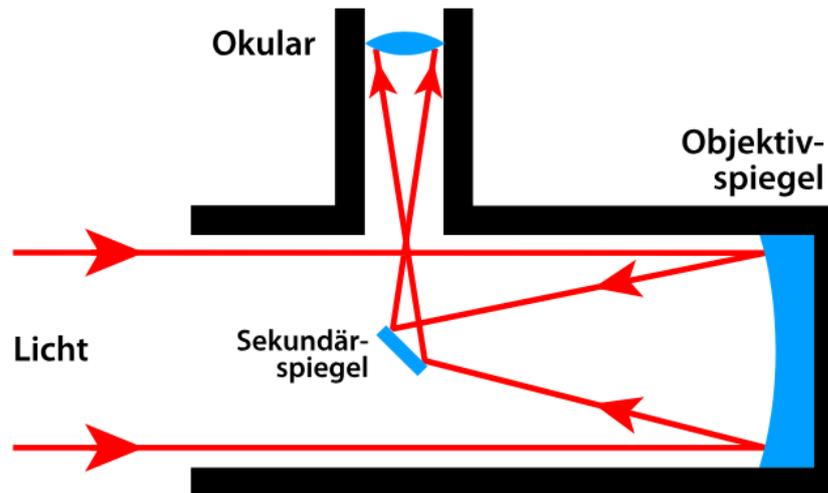


Abbildung 5: Strahlengang im Newton-Teleskop mit parabolischem Objektiv- und ebenem Sekundärspiegel (LEIFIphysik, 2025)

Der üblicherweise paraboloid geformte Hohlspiegel sorgt dafür, dass das Licht so gebeugt wird, dass das Bild auf die gewünschte Art vergrößert wird. Der ebene Sekundärspiegel ist so platziert, dass dieses, bereits reflektierte, Licht seitlich aus dem Gesichtsfeld des Primärspiegels abgelenkt wird, hat aber keinen weiteren Einfluss auf das Bild. Er muss dabei klein genug sein, um das einfallende Licht nicht zu stark abzuschwächen. Zuletzt wird in passendem Abstand seitlich am Teleskop ein Okular montiert, sodass eine Beobachtung stattfinden kann.

Cassegrain-Teleskop

Das Cassegrain-Teleskop, welches auf das Jahr 1672 datiert wird, ist eine Abwandlung des Aufbaus von James Gregory. Dabei ist der Hauptspiegel, genau wie beim Newton-Teleskop, ein Parabolspiegel.

Das Cassegrain-Teleskop verwendet statt des ebenen Spiegels des Newton-Aufbaus einen hyperboloiden Konvexspiegel, welcher das Licht durch ein Loch im Primärspiegel hinter das Teleskop lenkt, wo sich das Okular befindet (siehe Abbildung 6). Der Gregory-Aufbau verwendet stattdessen einen zweiten Konkavspiegel.

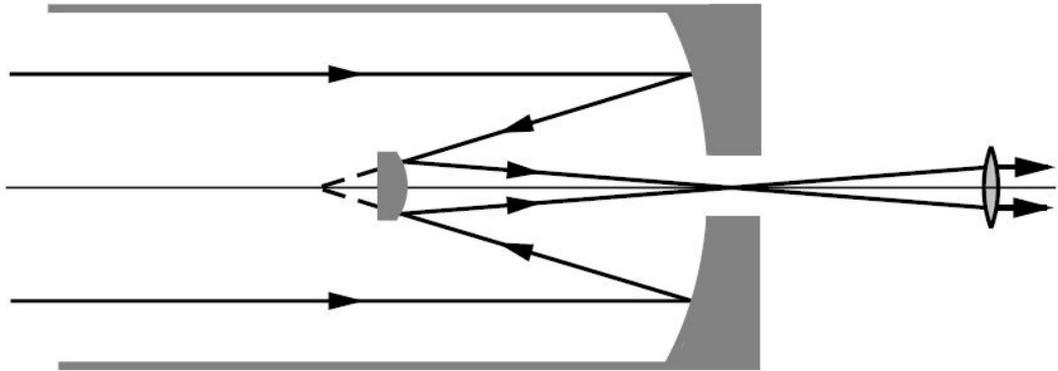


Abbildung 6: Cassegrain-Teleskop mit konkavem und konvexem Spiegel, (adaptiert nach Zinth und Zinth, 2018)

Während dadurch das Bild nicht gedreht wird, hat das Gregory-Teleskop gegenüber dem Cassegrain-Teleskop andere Nachteile. Zum einen benötigt der Aufbau einen längeren Lichtweg, weshalb das ganze Teleskop größer sein muss, um die gleiche Abbildung zu erzielen. Weiterhin hat der Gregory-Aufbau eine insgesamt schlechte Bildqualität, da sich die Abbildungsfehler der beiden konkaven Spiegel addieren, während sie sich bei der Kombination aus Konkav- und Konvexspiegel des Cassegrain-Aufbaus teilweise ausgleichen.

1.4.2 Abbildungsfehler

Besagte Abbildungsfehler, auch Aberrationen genannt, sorgen für suboptimale Ergebnisse beim Beobachten von Himmelskörpern mit Teleskopen. Bei allen Teleskoptypen kommen verschiedene Aberrationen vor, die sich auf unterschiedliche Weise abschwächen lassen. Man unterscheidet üblicherweise zwischen sechs verschiedenen Arten:

- Sphärische Aberration
- Koma
- Astigmatismus
- Bildfeldwölbung

- Verzeichnung
- Chromatische Aberration

Sphärische Aberration

Sphärische Aberration sorgt dafür, dass gebrochenes oder reflektiertes (paralleles) Licht nicht nur einen Fokus hat. Je weiter weg ein Lichtstrahl von der optischen Achse entfernt ist, desto kürzer wird die Fokusslänge. Das Resultat ist, dass der zu erzielende Punkt im Teleskop eine sogenannte „Ebene höchsten Fokus“ besitzt, in welcher er als minimaler Kreis und außerhalb dieser als Ring sichtbar wird, was in Abbildung 7 dargestellt ist.

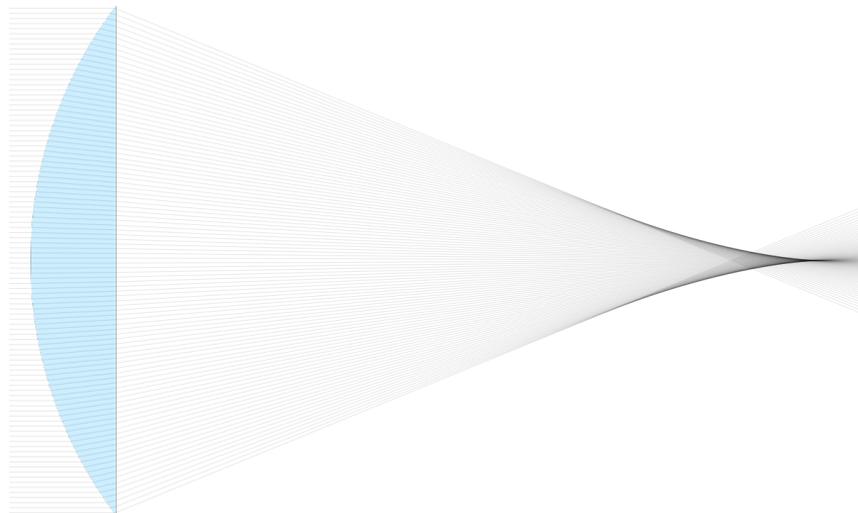


Abbildung 7: Effekt sphärischer Aberration, wodurch sich Strahlen mit unterschiedlicher Entfernung von der Optischen Achse in unterschiedlichen Entfernungen von der Linsenebene kreuzen. (w:de:Rainald62, 2020)

Sphärische Aberration wie in Abbildung 8 tritt auf, wenn kugelförmige Linsen oder Spiegel verwendet werden und können durch sogenannte asphärische Bauelemente eliminiert werden. Ein Parabolspiegel beispielsweise zeigt bei parallel einfallendem Licht keine sphärische Aberration. Alternativ können asphärische Korrekturlinsen in das System eingebracht werden, um die Aberration durch ein kugelförmiges Element auszugleichen.

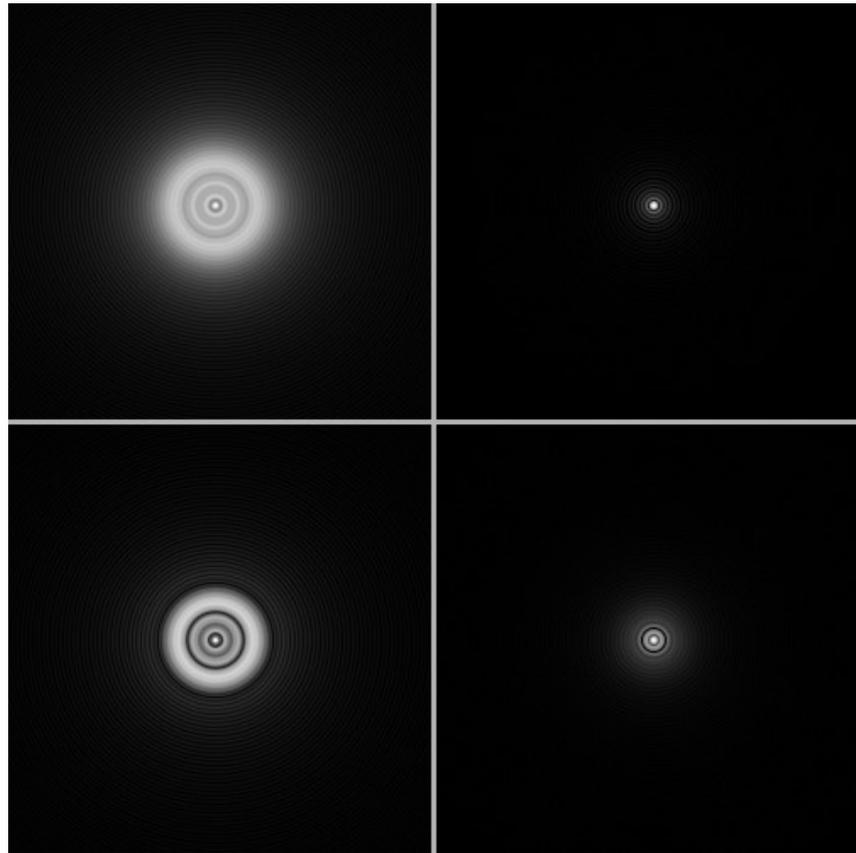


Abbildung 8: Vergleich des Beugungsmusters einer Punktquelle mit sphärischer Aberration (unten) und ohne sphärischer Aberration (oben). Links befindet sich das Bild außerhalb des Fokus des optischen Instruments, Rechts im Fokus. Die sphärische Aberration sorgt unten rechts dafür, dass der Rand des Beugungsmusters unschärfer erscheint, obwohl das Bild im Fokus ist. Unten links sind die Minima und Maxima außerhalb des Fokus klar getrennt, was ebenfalls an der Aberration liegt. (Ausschnitt nach Mdf, 2008)

Astigmatismus

Astigmatismus bezeichnet die Unschärfe die bei Licht auftritt, das nicht parallel zur optischen Achse in das System eintritt. Das System ist für Strahlen, je nach Position entlang unterschiedlicher Achsen, nicht symmetrisch bzw. kreisförmig, wie in Abbildung 9 zu sehen ist.

Dadurch wird der Fokuspunkt für diese Achsen unterschiedlich verschoben und besitzt eine gewisse Distanz. Beobachtet man die Quelle nun am Brennpunkt der einen Achse, so ist sie entlang der anderen Achse unscharf und insgesamt wird eine Punktquelle als Ellipse erscheinen. In Abbildung 10 ist zu sehen, dass in der Mitte

der beiden Brennpunkte entsteht das Bild als kleiner, unscharfer Kreis entsteht, welcher als „Kreis kleinster Verwirrung“ bezeichnet wird.

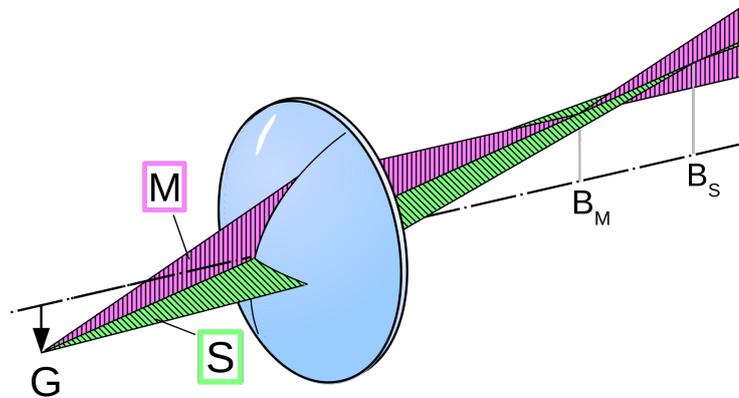


Abbildung 9: Entstehung von Astigmatismus durch unterschiedliche Fokussierungen B_M und B_S in den zugehörigen Ebenen M und S . (Schmid, 2008)

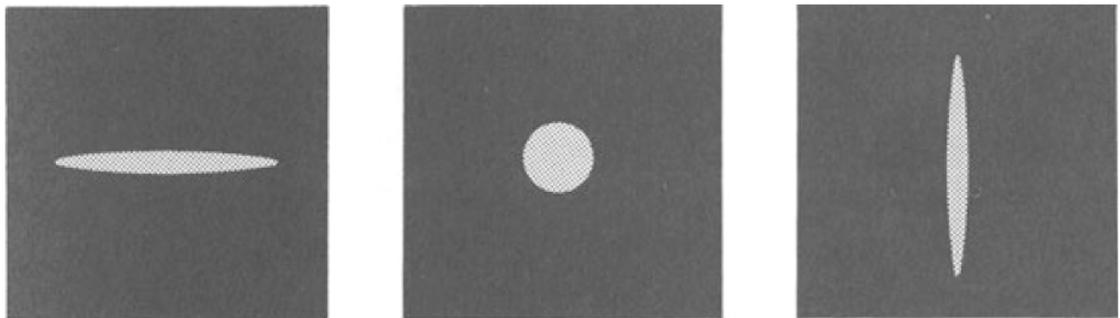


Abbildung 10: Astigmatismus bei der Abbildung einer Punktquelle, Mittig ist der Kreis kleinster Verwirrung zu sehen, links und rechts ist das Bild in Richtung der Fokussierungen der beiden Linsenachsen verschoben. (Kitchin, 2013)

Koma

Bei Koma handelt es sich um die Verzerrung des Bildes dadurch, dass parallele Strahlen nicht entlang der optischen Achse auf Linse/Spiegel treffen. Koma ist das Zusammenspiel von sphärischer Abberation und Astigmatismus. Dadurch wird, je nach Einfallswinkel, der Fokuspunkt verschoben, was zu einer dreiecksartigen Verzerrung des Bildes führt, die, erkennbar in Abbildung 11 an den Schweif eines Kometen

erinnert. Dieser Abbildungsfehler wird, wie auch sphärische Aberration, meist durch eine Korrekturoptik ausgeglichen.

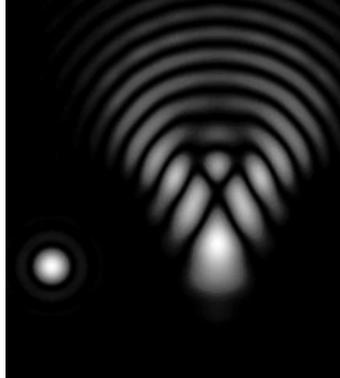


Abbildung 11: Punktquelle ohne Abbildungsfehler (links) und Punktquelle mit Koma (rechts). (Strangelove, 2005)

Bildfeldwölbung

Bildfeldwölbung heißt ein Abbildungsfehler, bei dem ein Bild nicht entlang einer Ebene im Fokus liegt, sondern nur entlang einer gekrümmten Oberfläche scharf wird. Ist das Bild in der Mitte des Schirms fokussiert, so ist der Rand unscharf und umgekehrt, siehe Abbildung 12. Das kann korrigiert werden, indem beispielsweise ein Kamerachip gekrümmt angefertigt wird, sodass er der Bildfeldwölbung entspricht.

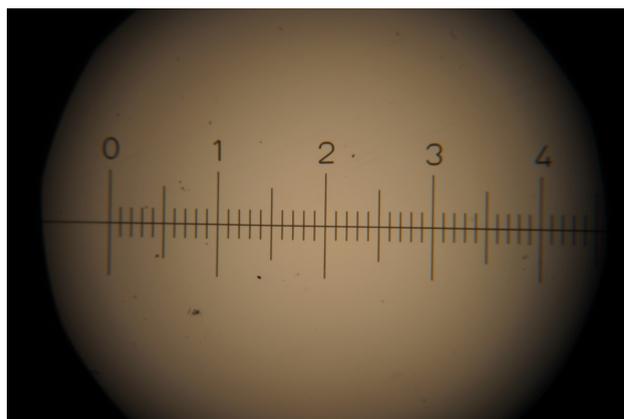


Abbildung 12: Bildfeldwölbung der Objektivskala beim Blick durch ein Mikroskop. Die Mitte der Skala ist scharf, die Skala am Rand erscheint unscharf. (Dietzel, 2012)

Verzeichnung

Die sogenannte Verzeichnung sorgt für eine unterschiedliche Vergrößerung des Bildes abhängig von der Entfernung des Bildpunktes von der optischen Achse. Ist die Vergrößerung am Rand des Bildes größer als im Zentrum, so spricht man von „kissenförmiger Verzeichnung“, beim Gegenteil von „tonnenförmiger Verzeichnung“, wie in Abbildung 13 dargestellt.

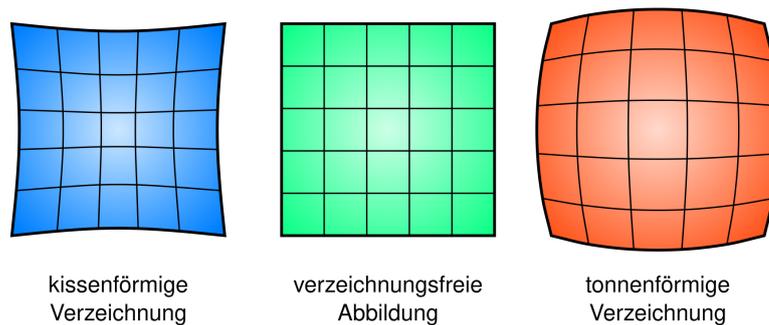


Abbildung 13: Der Effekt von kissen- und tonnenförmiger Verzeichnung wie er bei einem Quadrat entsteht. (Bäcker, 2006)

Chromatische Aberration

Chromatische Aberration tritt als einzige der genannten Abbildungsfehler nur bei Linsen und nicht bei Spiegeln auf. Sie entsteht dadurch, dass verschiedene Wellenlängen des Lichts einen unterschiedlichen Brechungsindex in Materialien aufweisen und so beim Durchgang durch eine Linse unterschiedlich stark gebrochen werden und dementsprechend unterschiedliche Fokusslängen aufweisen. Der Effekt sorgt dafür, dass das Bild aus mehreren, sich überlagernden Bildern unterschiedlicher Farbe besteht. An den Rändern markanter Strukturen können die einzelnen Farben erkannt werden, wobei das gesamte Bild unschärfer wird, so wie in Abbildung 14 zu sehen ist.



Abbildung 14: Vergleich zwischen Fotos ohne chromatische Aberration (oben) und mit chromatischer Aberration (unten). Am rechten Bildrand ist besonders der blaue Verschiebung zu erkennen. (Zurek, 2006)

1.5 Teleskope der Sternwarte Bamberg

An der Dr. Karl Remeis Sternwarte befinden sich zwei Kuppelgebäude mit fest installierten Spiegelteleskopen. Die westliche Kuppel beinhaltet das „Cuno-Hoffmeister-Teleskop“ (kurz: CHT), ein Teleskop des Herstellers MAEDE mit einem Objektivdurchmesser von 0.4 m und einer Brennweite von 4000 mm. Dieses Teleskop ist nach dem Schmidt-Cassegrain-Prinzip gebaut. Das bedeutet, es ist grundsätzlich nach dem Cassegrain-Aufbau konzipiert, besitzt allerdings einen sphärischen statt eines hyperboloiden Spiegel sowie ein zusätzliches Bauelement, die Schmidt-Platte, welche die sphärische Aberration ausgleicht.

In der Ostkuppel befindet sich das „Ernst-Hartwig-Teleskop“ (kurz: EHT) (zu sehen in Abbildung 15), ein Teleskop des Herstellers PlaneWave Instruments. Es hat einen Hauptspiegeldurchmesser von 0.5 m und eine Brennweite von 3.454 m. Dieses Teleskop ist eine weitere Variation des Cassegrain-Teleskops, ein sogenanntes „Corrected Dall-Kirkham-Teleskop“. Es besitzt einen elliptischen Haupt- sowie einen sphärischen Zweitspiegel und ein zusätzliches Linsensystem, um außeraxiale Abbildungsfehler zu minimieren. Beide Teleskope sind auf einer äquatorialen Halterung montiert.

Zusätzlich gibt es zwei kleinere Linsenteleskope, welche für Beobachtungen im Garten der Sternwarte verwendet wird. Die beiden Teleskope sind baugleich und es stehen äquatoriale Halterungen für sie zur Verfügung. Eines der Teleskope ist als Jürgen-Rahe-Teleskop (JRT) benannt und hat eine ZWO ASI6200MM Pro Kamera

fest installiert. Das zweite Teleskop ist unbenannt und wird für Echtzeitbeobachtungen verwendet, wobei hier auch eine Kamera angebracht werden kann.

Vergleich der Teleskope



Abbildung 15: Das Ernst-Hartwig Teleskop in der Ostkuppel der Dr. Karl Remeis-Sternwarte (eigene Darstellung)

Beim Blick in den Himmel und auf die dortigen Objekten ist es wichtig, sich vorher Gedanken darüber zu machen, mit welchem Instrument sie betrachtet werden sollen. Nicht jedes Instrument ist für jede Beobachtung geeignet. Das beginnt bei der Beobachtung mit dem bloßen Auge und führt schließlich zur Betrachtung von Röntgen-, Gamma- und Infrarotstrahlung mit hochspezialisierten Weltraumteleskopen. Die Unterschiede der Teleskope, die an der Sternwarte Bamberg zum Einsatz kommen, sind nicht insignifikant und sollten in Betracht gezogen werden, wenn eine Beobachtung stattfindet.

In nachfolgender Tabelle 1 werden die Teleskope der Sternwarte im Hinblick auf ihre Spezifikationen verglichen: Objektivdurchmesser und Brennweite, Auflösung (Gleichung 1.22), Lichtsammelvermögen (Gleichung 1.19) Grenzhelligkeit (Gleichung 1.2, minimale Vergrößerung (Gleichung 1.21) sowie Vergrößerung (Gleichung 1.17) und Gesichtsfeld (Gleichung 1.18) im Einsatz mit einem Okular, welches an der Sternwarte zur Verfügung steht. Hierfür wurden die Grenzeinstellungen eines Baader Hyperion Zoom Mark III Okulars verwendet, welches sowohl für die Beobachtung mit dem Gartenteleskop und für die Teleskope in den Kuppeln verwendet werden kann,

da die minimale Vergrößerung in jeder Einstellung kleiner ist. Diese Grenzwerte sind 8.0 mm Brennweite mit einem Blickwinkel von 68° und 24 mm Brennweite mit einem Blickwinkel von 48° (vgl Paech, 2013). Für die Auflösung wird eine Wellenlänge von 550 nm verwendet, da es sich dabei um einen Wert in der Mitte des optischen Spektrums handelt.

Tabelle 1: Vergleich der Kenngrößen des Ernst-Hartwig-Teleskops, Cuno-Hoffmeiser-Teleskops und Jürgen-Rahe-Teleskops der Sternwarte Bamberg. Einheitenlose Größen ergeben sich wie folgt: Lichtsammelvermögen als $\frac{\text{Objektivfläche}}{\text{Pupillenfläche}}$, minimale Vergrößerung als $\frac{\text{Objektidurchmesser}}{\text{Pupillendurchmesser}}$ und Vergrößerung als $\frac{\text{Objektivbrennweite}}{\text{Okularbrennweite}}$.

Größe	EHT	CHT	JRT
Objektivdurchmesser	500 mm	400 mm	115 mm
Brennweite f_1	3454 mm	4000 mm	805 mm
Auflösung	0.272''	0.346''	1.203''
Lichtsammelvermögen	5000	3000	300
Grenzhelligkeit	14.5 mag	14.0 mag	11.3 mag
Minimale Vergrößerung	70	60	16
Vergrößerung ($f_2 = 8.0$ mm)	430	500	100
Gesichtsfeld ($f_2 = 8.0$ mm)	570''	490''	2400''
Vergrößerung ($f_2 = 24$ mm)	140	170	33
Gesichtsfeld ($f_2 = 24$ mm)	1200''	1000''	5200''

Im Vergleich fällt auf, dass CHT und EHT aufgrund ihrer ähnlichen Brennweiten auch ähnliche Vergrößerungen und Gesichtsfelder haben. Ebenso liegt ihre Auflösung weit unter der Limitierung durch Seeing. Im Gegensatz dazu steht das JRT, welches mit seiner Auflösung nah an der Limitierung des Seeing ist, was in der Praxis jedoch nicht hinderlich ist, insbesondere da das Gesichtsfeld wesentlich größer ist. Dieses ist von besonderem Interesse bei der Auswahl von Beobachtungszielen, da ein größeres Gesichtsfeld die Beobachtung und besonders die Fotografie von größeren Objekten wie dem Mond oder der Andromeda Galaxie vereinfacht. Der Mond besitzt eine Winkelausdehnung von ca. 1800'' (vgl. Williams, 2025), was selbst bei größter Vergrößerung bequem in das Gesichtsfeld des JRT passt. Mit den Teleskopen in den Kuppeln kann dagegen nur ein Ausschnitt des Mondes betrachtet werden und eine Fotografie müsste als Mosaik aufgenommen werden, was den Zeitaufwand vervielfacht. Die Andromeda-Galaxie ist hingegen noch größer und besitzt mit ihrer stark ellipsoiden Form eine Winkelausdehnung von ca. $11400'' \times 3600''$ (vgl. NASA,

2025), ist also selbst für das JRT mit größtem Gesichtsfeld zu groß. Es eignet sich dennoch besser für eine Fotografie, da eine Mosaikaufnahme aus nur drei Bildern erstellt werden kann, wohingegen das EHT mindestens 30 Aufnahmen machen muss. Andererseits ist ein großes Gesichtsfeld für kleinere Objekte unpraktisch. Beispielsweise hat der Saturn eine Winkelausdehnung von ca. $19''$ (vgl. Williams, 2024), sodass er im JRT in jedem Fall winzig erscheint, und Details wie die Ringe fast nicht ausgemacht werden können. Selbst im Falle der Kuppelteleskope könnte man ein Okular mit noch geringerer Brennweite verwenden, der Saturn und seine Ringe sind hier allerdings gut erkennbar, da sein Durchmesser bei größter Vergrößerung ca. 5% dem des Gesichtsfeldes entspricht.

Ein weiterer wichtiger Aspekt für die Planung einer Beobachtung und die Entscheidung für ein Teleskop ist der praktische Aufwand, der mit der Benutzung verbunden ist. Während die Teleskope in den Kuppeln fest montiert sind, und daher mit wenig Aufwand für Beobachtungen, insbesondere mit einem Okular, verwendet werden können, müssen die Gartenteleskope vor jeder Beobachtung aufgebaut und kalibriert und im Anschluss wieder verräumt werden. Diese Kalibration umfasst neben der Sicherung des Stativs auch die Balancierung der Halterung, die Ausrichtung der Rotationsachse am Himmelsnordpol und die elektronische Kalibration des Controllers. Dieser Aufwand sollte eine Beobachtung im Prinzip nicht behindern, besonders wenn ein Objekt beobachtet werden soll, für das sich das kleinere Teleskop besser eignet, wie beispielsweise die Jupitermonde. Dennoch ist es aufgrund des praktischen Aufwands im Rahmen einer Führung durch die Sternwarte empfehlenswert, eines der Kuppelteleskope zu verwenden.

1.6 Fotografie

Eine weitere, heute unverzichtbare, Erfindung wurde im frühen 19. Jahrhundert entwickelt: Die Fotografie. Bereits in den 1820ern wurden erfolgreich Bilder von Joseph Nièpce und Louis Daguerre aufgenommen. Diese benötigten jedoch noch mehrere Stunden zur Belichtung. In den folgenden Jahren wurde diese Technik rasant erforscht und verbessert und wurde bald auch in der Astronomie angewandt. So berichtet King, 1956 von Fotografien des Mondes um 1852, welche zumindest grobe Oberflächenstrukturen zeigten. Noch vor Ende des 19. Jhd. war die Fotografie in die astronomische Forschung integriert. Um 1874 wurde der Venustransit in Neuseeland

fotografiert und im Jahr 1892 veröffentlichte Charles Pritchard seine Forschungsergebnisse zur Bestimmung von Parallaxen mithilfe von Fotografien.

Heute ist die Fotografie aus der astronomischen Wissenschaft nicht mehr wegzudenken. So ermöglicht das Festhalten des Nachthimmels auf diese Weise das ausführliche Studieren jedes beliebigen Details, das die Auflösung des Fotos erlaubt, aber insbesondere auch den direkten Vergleich von Himmelskörpern zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Auf diese Weise können die Eigenschaften von z.B. veränderlichen Sternen oder die Bewegung von Himmelskörpern akkurat bestimmt werden. Weiterhin ermöglicht der Einsatz von Fotografie es, den Himmel mit langen Belichtungszeiten zu betrachten. Erst dadurch ist es möglich, Deep-Sky Objekte wie Sternhaufen und Nebel detailliert zu erkennen und auch die dunkelsten Objekte am Himmel zu beobachten. Zusätzlich ist es durch den Einsatz von Fotos, und besonders deren digitale Bearbeitung durch Korrekturaufnahmen und Kompositionsbilder, möglich, störende Faktoren wie Lichtverschmutzung und Atmosphärenbewegung abzuschwächen.

1.6.1 Spektroskopie

Die Beobachtung des Himmels mithilfe der Fotografie ermöglicht es, auch bei anderen Sternen als der Sonne, aber auch allen anderen Himmelskörpern das Lichtspektrum zu untersuchen. Dennoch dauerte es nach der Bestimmung der Fraunhofer-Linien des Sonnenspektrums im Jahr 1814 (vgl. Fraunhofer, 1815) noch bis ins Jahr 1845 bis Henry Draper das erste Spektrum eines anderen Sterns, α Lyrae, fotografierte. Dieses und weitere seiner spektrographischen Aufnahmen wurden von Edward Pickering kategorisiert und im sogenannten „The Draper Catalogue of Stellar Spectra“ im Jahr 1890 veröffentlicht (vgl. Gingerich, 1982). Dieser Katalog und seine Spektralklassen von „A“ bis „O“ stellt die Grundlage für das bis heute verwendete „Harvard-System“ dar.

Schwarze Strahler

Sterne emittieren Licht als sogenannte „thermische Strahlung“, welche sich vereinfacht als die eines „schwarzen Körpers“ darstellen lässt, wobei sich diese Näherung zur Beschreibung der Realität eignet. Ein schwarzer Körper ist dadurch definiert, dass er jede auftreffende elektromagnetische Strahlung vollständig absorbiert. Gleichzeitig strahlt er, abhängig von seiner Temperatur, Energie als kontinuierliches

Spektrum ab, dessen Intensität I durch das Planck'sche Strahlungsgesetz beschrieben ist:

$$I(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{k\lambda T}} - 1} \quad (1.23)$$

In dieser Gleichung sind T die Temperatur und λ die emittierte Wellenlänge, sowie c die Lichtgeschwindigkeit und k die Boltzmann-Konstante. Das so beschriebene Emissionsspektrum ist in Abbildung 16 für verschiedene Temperaturen dargestellt.

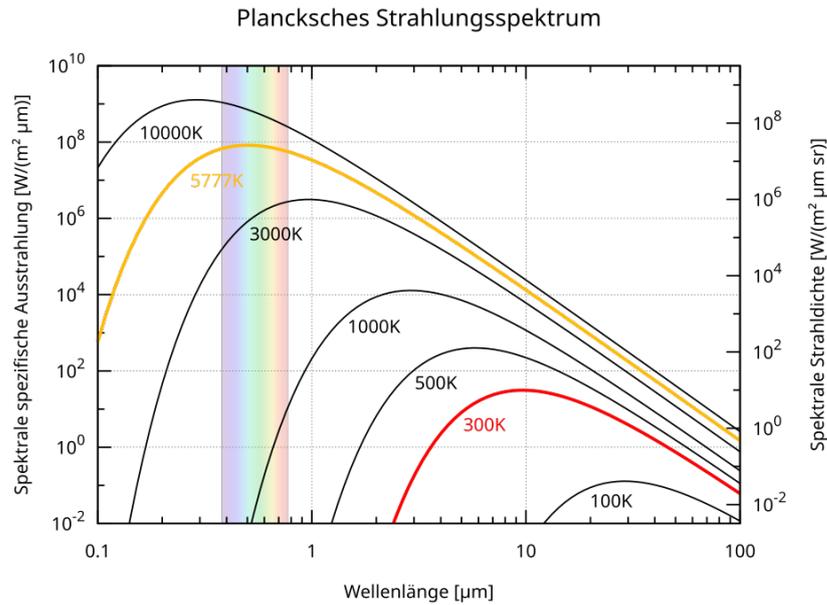


Abbildung 16: Schwarzkörperstrahlung nach dem Planck'schen Strahlungsgesetz für verschiedene Temperaturen in doppelt-logarithmischer Darstellung. In Gelb markiert ist das Spektrum für die Effektivtemperatur der Sonne, in Rot das eines Körpers auf nahezu Raumtemperatur (ca. 27°C) (Prog, 2017).

Die Integration über die Wellenlängen des gesamten Spektrums gibt die Strahlungsdichte L (d.h. Strahlungsleistung pro Flächenelement) eines Körpers an. Dies wird auch als Stefan-Boltzmann-Gesetz bezeichnet:

$$L = \sigma T^4 \quad (1.24)$$

Dabei ist σ die sogenannte Stefan-Boltzmann-Konstante und fasst die übrigen Konstanten im Integral zusammen:

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15h^3 c^3} \quad (1.25)$$

Das Wien'sche Verschiebungsgesetz wird zur Berechnung der Wellenlänge maximaler Intensität λ_{max} genutzt:

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T} = \frac{0.002897 \text{ m K}}{T} \quad (1.26)$$

Die Konstante b wird als Wien'sche Verschiebungskonstante bezeichnet. Dieser Zusammenhang wird Verschiebungsgesetz genannt, da sich das Strahlungsmaximum für höhere Temperaturen zu immer kürzeren Wellenlängen hin verschiebt.

Wird aus dem Spektrum eines Stern die Wellenlänge maximaler Intensität bestimmt, so kann mithilfe des Wien'schen Verschiebungsgesetzes die sogenannte „Effektivtemperatur“ berechnet werden. Obwohl die Temperatur innerhalb des Sterns stark schwankt und mehrere Millionen Kelvin erreichen kann, strahlt er wie ein schwarzer Körper mit der entsprechenden Effektivtemperatur. Für die Sonne liegt dieser Wert bei ca. 5770K (vgl. Demtröder, 2016; Hanslmeier, 2020)

Absorptions- und Emissionslinien durch Elektronenübergänge

Im Spektrum eines Sterns treten Absorptionslinien immer bei den gleichen Wellenlängen auf. Der Grund hierfür ist, dass diese Absorptionslinien durch Elektronenübergänge der Atome und Moleküle, aus welchen der Stern besteht, entstehen. Zur Erklärung dieser Elektronenübergänge kann zur Vereinfachung das Bohr'sche Atommodell herangezogen werden. Im Zuge dieser Vereinfachung soll an dieser Stelle nur auf das Wasserstoff-Atom eingegangen werden. Die Vorgänge in anderen Atomen und Molekülen folgen den gleichen zugrunde liegenden Phänomenen, sind jedoch ungleich komplexer (vgl. Demtröder, 2016).

Elektronen bewegen sich im Bohr'schen Atommodell auf Kreisbahnen mit Radius r und einer Geschwindigkeit v um den Schwerpunkt des Atoms. Es handelt sich dabei zwar um ein Zweikörpersystem, jedoch ist der Massenunterschied zwischen Atomkern und Elektron so groß, dass die reduzierte Masse μ der des Elektrons entspricht:

$$\mu = \frac{m_e \cdot m_k}{m_e + m_k} \approx m_e \quad (1.27)$$

Bei dieser Kreisbewegung wirkt die Zentralkraft, wobei sich gleichzeitig Elektron und Atomkern aufgrund ihrer gegensätzlichen Ladung anziehen und die Coulombkraft

wirkt. Für einen stabilen Orbit müssen diese beiden Kräfte gleich sein:

$$\vec{F}_z = -\frac{m_e v^2}{r} \hat{e}_r = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Z \cdot e^2}{r^2} \hat{e}_r = \vec{F}_C \quad (1.28)$$

Dabei ist \hat{e}_r der Einheitsvektor in Richtung des Bahnradius, $Z \cdot e$ die Ladung des Atomkerns und ϵ_0 die Dielektrizitätskonstante. Der Bahnradius r lässt sich für ein Elektron eines Atoms mit Ladungszahl Z mit beliebiger Geschwindigkeit v berechnen:

$$r = \frac{Z e^2}{4\pi\epsilon_0 m_e v^2} \quad (1.29)$$

Tatsächlich kann das Elektron keine beliebige Energie, und damit auch keine beliebige Geschwindigkeit haben. Um dem Wellencharakter zu entsprechen, muss die Beschreibung der Materiewelle des Elektrons eine stehende Welle sein, deren Wellenlänge λ_D die Länge der Kreisbahn teilt, bzw die Länge der Kreisbahn muss ein Vielfaches der Wellenlänge sein:

$$\lambda_D = \frac{2\pi r}{n} \Leftrightarrow r = \frac{\lambda_D \cdot n}{2\pi} \quad n \in \mathbb{N} \quad (1.30)$$

Die Wellenlänge der Materiewelle des Elektrons hängt direkt mit der Energie und damit der Geschwindigkeit zusammen:

$$\lambda_D = \frac{h}{m_e \cdot v} \quad (1.31)$$

Führt man nun Gleichung 1.30 und Gleichung 1.31 zusammen, erhält man eine Bedingung für die Geschwindigkeit des Elektrons

$$v = n \cdot \frac{h}{2\pi m_e r} \quad n \in \mathbb{N} \quad (1.32)$$

Da die Geschwindigkeit also nur bestimmte Werte annehmen kann, gibt es auch nur bestimmte Bahnradien:

$$r = \frac{n^2 h^2 \epsilon_0}{\pi m_e Z e^2} \quad (1.33)$$

Aus Gleichung 1.28 lässt sich auch eine Bedingung für die kinetische Energie formulieren:

$$E_{kin} = \frac{m_e v^2}{2} = \frac{Z e^2}{8\pi\epsilon_0 r} \quad (1.34)$$

Diese Gleichung ähnelt stark der, die die potentielle Energie des Elektrons im Coulombfeld des Atomkerns beschreibt:

$$E_{pot} = -\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} = -2E_{kin} \quad (1.35)$$

Damit kann nun die Gesamtenergie des Elektrons berechnet werden, wobei der Referenzpunkt üblicherweise im Unendlichen liegt, weshalb die Energie ein negatives Vorzeichen erhält:

$$E = E_{kin} + E_{pot} = -\frac{Ze^2}{8\pi\epsilon_0 r} \quad (1.36)$$

Mit Gleichung 1.33 ergibt sich die Bindungsenergie des Elektrons im Atom:

$$E_n = -\frac{m_e e^4 Z^2}{8\epsilon_0^2 h^2 n^2} \quad (1.37)$$

Demnach kann das Elektron, wenn es im Atom gebunden ist, nur bestimmte Energien besitzen, welche durch die Quantenzahl n bestimmt werden.

Die Absorptionslinien, die im Spektrum beobachtet werden, sind nun durch die Elektronenübergänge erklärt. Ein Elektron kann ein Photon absorbieren, vorausgesetzt, dass dieses Photon eine Energie trägt, die genau dem Unterschied zwischen zwei möglichen Energiezuständen des gebundenen Elektrons entspricht. Da die Energie des Photons mit dessen Wellenlänge zusammenhängt, kann ein bestimmtes Atom auch nur bestimmte Wellenlängen des Lichtes absorbieren. Bezeichnet man die beiden Energiezustände, zwischen denen das Elektron wechselt als E_{n_k} und E_{n_i} , so muss das absorbierte Photon der Energieerhaltung genügen:

$$h \cdot \nu = E_{n_k} - E_{n_i} \quad (1.38)$$

Der Zustand E_{n_k} muss hierbei der höhere Energiezustand sein, E_{n_i} der niedrigere. Tatsächlich lässt sich bestimmen, welche Frequenzen ν des Lichtes von dem Atom absorbiert werden können, indem die Energie des Photons in Gleichung 1.36 einsetzt:

$$\nu = -\frac{m_e e^4 Z^2}{8\epsilon_0^2 h^3} \cdot \left(\frac{1}{n_i^2} - \frac{1}{n_k^2} \right) \quad (1.39)$$

Dieser Vorgang kann auch umgekehrt stattfinden, sodass ein Elektron, welches sich in einem höheren Energiezustand befindet, ein Photon mit der entsprechenden Wellenlänge emittiert und dabei in einen niedrigeren Energiezustand versetzt wird. Dabei entsteht eine sogenannte Emissionslinie (vgl. Demtröder, 2016).

Im Fall eines Sterns emittiert dieser durch seine Temperatur ein kontinuierliches Spektrum thermischer Strahlung, so wie das Planck'sche Strahlungsgesetz vorausagt. In den Atmosphärenschichten des Sterns, welche das Licht passieren muss, befinden sich verschiedene Stoffe, welche entsprechend des Elektronenübergangs einzelne Wellenlängen des Lichts absorbieren. Deshalb fehlen im beobachtbaren Spektrum diese Wellenlängen, d.h. als Absorptionslinien sind erkennbar.

Im Gegensatz zu Sternen oder Ansammlungen von Sternen (z.B. Kugelsternhaufen, Galaxien) fällt bei der Spektroskopie von Nebeln auf, dass diese kein thermisches Kontinuum nach dem Planck'schen Strahlungsgesetz, sondern besonders starke Emissionslinien abstrahlen, erkennbar in Abbildung 17. Der Grund hierfür ist, dass die geringe Dichte von Nebeln dafür sorgt, dass auch sehr hohe Energiezustände von Elektronen stabil an einen Atomkern gebunden sind. Daher können Nebel sehr energiereiche Photonen absorbieren, die von umliegenden Sternen als thermische Strahlung emittiert wurden, sodass die Elektronen der Atome viele Energieniveaus gleichzeitig überspringen. Anschließend verlaufen die Elektronenübergänge von den hohen zu den niedrigen Energiezuständen nacheinander, sodass viele Photonen unterschiedlicher Wellenlänge emittiert werden. Es können dadurch auch Emissionslinien in Wellenlängen beobachtet werden, die auf der Erde nicht replizierbar sind, da unter Normalbedingungen die Energieniveaus nicht erreicht werden können (vgl. Hanslmeier, 2020).

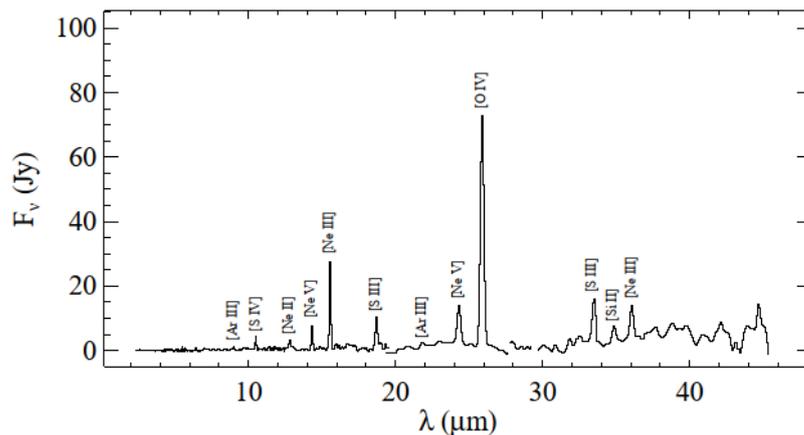


Abbildung 17: Spektrum des planetarischen Nebels NGC6445 im Infrarotbereich bis $40 \mu\text{m}$. Die Emissionslinien sind nach ihrem Ursprung beschriftet (Hoof u. a., 2000).

Kontinuumsemission durch Bremsstrahlung

Neben den Emissionslinien kann bei der Spektroskopie von Nebeln dennoch ein Kontinuum beobachtet werden, welches jedoch nicht durch die Temperatur wie bei einem schwarzen Strahler entsteht. Stattdessen ist die Ursache hier die Bremsstrahlung, welche üblicherweise mit Röntgenstrahlen in Verbindung gebracht wird. Tatsächlich kann Bremsstrahlung bei jeder Wellenlänge auftreten, da es im Gegensatz zum Elektronenübergang keine beschränkenden Bedingungen gibt.

Bremsstrahlung entsteht durch die Ablenkung eines geladenen Teilchens im Coulombfeld eines Anderen, ohne dass die Teilchen aneinander gebunden werden. Zumeist handelt es sich dabei um ein Elektron und einen Atomkern. Durch die Geschwindigkeitsänderung wird ein Photon freigesetzt. Diese Bremsstrahlung ist auch als thermische Bremsstrahlung bekannt, da sie nur entsteht, wenn sich die beteiligten Teilchen im thermodynamischen Gleichgewicht befinden. Die thermische Bremsstrahlung dominiert die Radioemission von Nebeln, insbesondere HII-Regionen. Der Grund hierfür ist, dass die Geschwindigkeitsänderung, die die Bremsstrahlung verursacht, im Allgemeinen eine Winkelablenkung ist. Selbst bei sehr geringer Ablenkung kann Strahlung entstehen, welche jedoch eine entsprechend geringe Leistung hat. Das geht mit einer großen Wellenlänge einher, welche sich dementsprechend im Radiobereich befindet (vgl. Condon und Ransom, 2016).

1.6.2 Prozess einer astronomischen Fotoaufnahme

Die fotografische Aufnahme des Nachthimmels stellt im Vergleich zur typischen Fotografie eine gewisse Herausforderung dar, da durch die Lichtverhältnisse besondere Vorkehrungen getroffen werden müssen. Aus diesem Grund soll der Vorgang hier dargestellt werden, wie er auch im Astronomiepraktikum an der Sternwarte Bamberg durchgeführt wird (Remeis-Sternwarte, 2024). Als Beobachtungsziel wurde der Orion-Nebel, auch als M42 bekannt, ausgewählt. Die Rohaufnahmen stammen aus dem Archiv der Sternwarte.

Beobachtungsziel

Bevor die Fotografie aufgenommen werden kann, muss zunächst ein passendes Objekt gewählt werden. Dieses muss es hell genug sein, um sich vom Nachthimmel ab-

zuheben. Es muss insbesondere heller sein, als die Zenithelligkeit des Beobachtungsortes, welcher für Bamberg ca. 20 mag/arcmin^2 beträgt (vgl. Stare, 2014). Ein Objekt mit einer Flächenhelligkeit in der gleichen Größenordnung wird sich jedoch nicht sonderlich vom sogenannten Hintergrundrauschen abheben. Dieses Rauschen ist das Signal, welches durch statistische Effekte des Hintergrunds auf dem Kamerasensor entsteht.

Um effektive Aufnahmen zu ermöglichen, bei welchem sich das fotografierte Objekt deutlich vom Hintergrund abhebt, sollte deshalb eine Flächenhelligkeit von mindestens 15 mag/arcmin^2 angestrebt werden. Dabei ist zu beachten, dass dunklere Objekte auch länger belichtet werden müssen, um ein ähnliches Ergebnis zu erzielen wie hellere Objekte bei kürzerer Belichtungszeit. Das ausgewählte Objekt M42 besitzt eine scheinbare Helligkeit von 4.0 mag (Sinott, 1988) und eine Ausdehnung von ca. $65' \times 60'$ (NASA, 2025), besitzt also nach Gleichung 1.3 eine Flächenhelligkeit von ca. 13 mag/arcmin^2 , innerhalb der angegebenen Grenze.

Neben der Helligkeit ist auch die Position des Objekts am Himmel essentiell. Durch Bebauung und andere Obstruktion wird der minimale Höhenwinkel über den Horizont gehoben. Zusätzlich ist der Seeing-Effekt bei niedrigen Höhenwinkeln verstärkt, da das Licht eine größere Strecke durch die Atmosphäre zurücklegen muss. Daher sollte das Objekt während der gesamten Belichtungszeit mindestens 30° über dem Horizont stehen.

Ein dritter Faktor ist die Winkelausdehnung des gewünschten Objektes. Da bei der Fotografie kein Okular zum Einsatz kommt, muss das Gesichtsfeld der verwendeten Kamera berechnet werden. Dafür wird zunächst die Winkelauflösung Θ_k der Kamera benötigt, welche sich aus Pixelausdehnung p und Brennweite f des Objektivs berechnet, welches in diesem Fall das Teleskop ist:

$$\Theta_k = \frac{p}{f} \cdot 206\,265 \quad (1.40)$$

Das Gesichtsfeld folgt dann mit der Anzahl der Pixel, die der Kamerasensor besitzt:

$$n_{pix} \cdot \frac{p}{f} \cdot 206\,265 \quad (1.41)$$

Bei beiden Gleichungen sorgt der Faktor 206 265 dafür, dass das Ergebnis die Einheit Bogensekunden hat. Es ist hier wichtig zu beachten, dass nicht jede Kamera einen quadratischen Sensor oder quadratische Pixel besitzt, weshalb die Ausdehnung des Gesichtfeldes potentiell in beiden Dimensionen separat berechnet werden muss.

Für die Teleskope der Sternwarte stehen zwei Kameras zur Verfügung: am EHT kommt eine C4-16000-Kamera des Herstellers „Moravian“ zum Einsatz, während die am JRT montierte Kamera das Modell ASI6200MM Pro des Herstellers „ZWO“ ist. Die C4-16000 besitzt einen quadratischen Kamerasensor, welcher aus 4096×4096 quadratischen Pixeln, mit einer Seitenlänge von $9 \mu m$, besteht (siehe Instruments, 2025). Mit der Brennweite von $3454 mm$ des EHT ergibt sich nach Gleichung 1.41 ein Gesichtsfeld von $2201'' \times 2201''$. Diese Kamera eignet sich also nicht für den Orion-Nebel mit einer Ausdehnung von ca. $3600'' \times 3900''$.

Die ASI6200MM Pro besitzt eine Kamerasensor mit 9576×6388 Pixeln, welche eine quadratische Ausdehnung von $3.76 \mu m \times 3.76 \mu m$ haben (siehe ZWO, 2025). Diese Kamera erreicht mit der Brennweite von $805 mm$ des JRT ein Gesichtsfeld von $9225'' \times 6154''$ und ist für die Fotografie von M42 geeignet.

Optische Filter

Die meisten Kameras, die für die Astrofotografie ausgelegt sind, sind einfache Kamerachips, die keine Farbauflösung haben. Der Grund hierfür ist einerseits, dass Farbkameras grundsätzlich eine geringe Auflösung haben, als monochromatische Kameras. Der Kamerachip selbst detektiert Licht jeder Wellenlänge, weshalb bei Farbkameras direkt auf dem Sensor eine sogenannte Bayer-Maske aufgebracht ist, die für jeden Pixel eine Farbe bestimmt, die dieser aufnehmen kann. Wie in Abbildung 18 erkennbar ist, wird die Auflösung dadurch für jede Farbe reduziert.

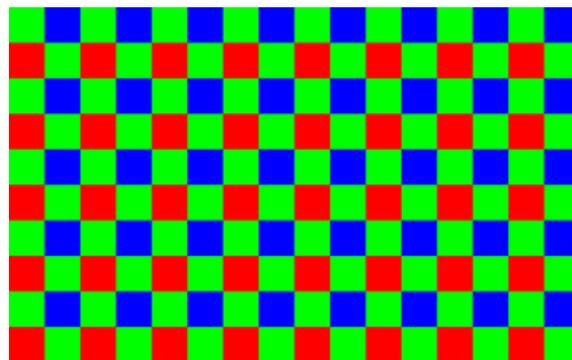


Abbildung 18: Bayer-Matrix, wie sie auf dem Kamerasensor einer Farbkamera aufgebracht ist. Die Hälfte der Pixel ist grün, je ein Viertel ist rot und blau (Amada44, 2008).

Der zweite Grund, warum für Astrofotografie üblicherweise monochromatische Kameras verwendet werden ist, dass dadurch weitere Filter verwendet werden können. Für die Fotografie von Sternen, Sternhaufen und Galaxien, die ein kontinuierliches Spektrum zeigen, sind Breitbandfilter sehr nützlich. Diese lassen eine große Spanne von Wellenlängen passieren, beispielsweise „rot“ von ca. 580 nm-700 nm (siehe Abbildung 19). Diese Filter sind an der Farbwahrnehmung des Menschen orientiert, um Farbfotografie zu ermöglichen.

Im Gegensatz dazu stehen Schmalbandfilter, welche nur Licht einer bestimmten Wellenlänge und in einem geringen Bereich, üblicherweise weniger als 10 nm, um diese Wellenlänge herum transparent ist. Diese sind dafür entwickelt, Emissionslinien von Nebeln, wie M42, zu fotografieren. Da die Wellenlänge einer Emissionslinie durch das Element bestimmt wird, das sie emittiert, kann dadurch kontrastreich bestimmt werden, welche Struktur der Nebel aufweist.

Die Verwendung verschiedener Filter verringert die Intensität des einfallenden Lichtes, weshalb die Belichtungszeit der Kamera angepasst werden muss. Während die Verwendung von Breitband-Aufnahmen einige Minuten dauert, benötigen Schmalband-Aufnahmen oft mehrere Stunden Belichtungszeit. Aus diesem Grund ist es situationsbedingt dennoch sinnvoll, einen Nebel mit Breitbandfiltern zu fotografieren um die benötigte Belichtungszeit zu verringern.

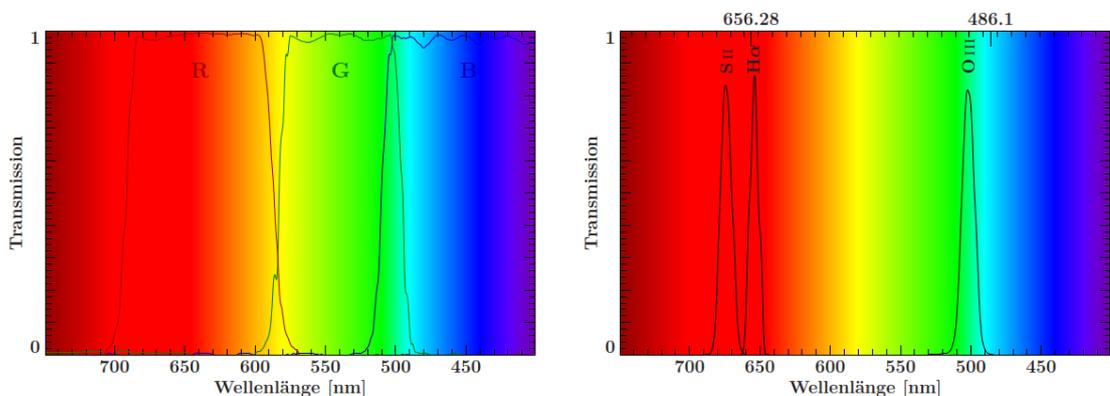


Abbildung 19: Transparenz eines Filtersatzes der Sternwarte Bamberg in Abhängigkeit der Wellenlänge. Links sind Breitbandfilter für rotes, grünes und blaues Licht abgebildet, rechts die Schmalbandfilter für die Emissionslinien S II, H α und O III (Remeis-Sternwarte, 2024)

Falls die Fotografie aus RGB-Breitbandaufnahmen besteht, spricht man von einer „Echtfarbendarstellung“, jedoch können auch andere Filter bzw. Wellenlängen für die Fotografie verwendet werden. Die hier durchgeführte Fotografie von M42 ist eine

solche Echtfarbaufnahme.

Wenn hingegen Aufnahmen eines Objektes im z.B. Röntgen- und Infrarotbereich zusammengeführt werden, werden den Wellenlängenbereichen oft bestimmte Farben zugeordnet. Da diese Wellenlängen für den Menschen unsichtbar sind, sind diese Farbzugeordnungen willkürlich und entsprechen nicht der tatsächlichen „Farbe“ des Objekts. Man spricht bei solchen Bildern von „Falschfarbaufnahmen“, wie beispielsweise bei der Aufnahme des Blasennebels in Abbildung 20. In diesem Fall handelt es sich um Schmalbandaufnahmen im sichtbaren Bereich, jedoch ist auch diese Darstellung nicht farbecht, um die Kontraste der Aufnahme zu verstärken. Zwei der verwendeten Filter ($H\alpha=657\text{ nm}$ und $NII=658\text{ nm}$) besitzen fast die gleiche Wellenlänge, würden sich für die menschliche Farbwahrnehmung also nicht unterscheiden.



Abbildung 20: Blasennebel (NGC7635), aufgenommen mit dem Hubble Space Telescope mit den Filtern OIII (502 nm), $H\alpha$ (657 nm) und NII (658 nm) (Falschfarbaufnahme) (ESA, 2016).

Korrekturaufnahmen

Eine Fotografie eines astronomischen Objektes hat für sich genommen selten eine gute Qualität. Aus diesem Grund werden mehrere sogenannte Korrektur- bzw. Kalibrationsaufnahmen verwendet, um die Qualität durch vorhersagbare Effekte zu verbessern.

Biasframes werden dazu genutzt, um Defekte und Grundeigenschaften der Kamera zu beheben. Sie werden mit geschlossener Blende und möglichst kurzer Belichtungszeit gemacht. Dadurch wird das sogenannte „Ausleserauschen“ der Kamera bestimmt, welches dadurch entsteht, dass die einzelnen Pixel durch den Betrieb der Kamera selbst ein Signal liefern. Zusätzlich lassen sich in Biasframes sogenannte „Hot Pixel“ finden, also diejenigen Pixel, die auch ohne eigentlich einkommendes Licht ein starkes Signal liefern. Mit dem Bias wird außerdem das „Verstärkerglühen“ aufgezeichnet, das durch die Ausleseelektronik der Kamera erzeugt wird.

Für eine Kamera werden üblicherweise mehrere hundert Biasframes aufgenommen und zu einem „Master-Bias“ zusammengeführt. Dafür wird für jeden Pixel des Sensors das Signal jeder Aufnahme gemittelt. Diesen Prozess nennt man auch „Stacking“. Da das Verstärkerglühen temperaturabhängig ist, ist ein solcher Master-Bias nur für die entsprechende Temperatur verwendbar. Der Master-Bias wird von der eigentlichen Aufnahme des Objekts, den Lightframes, aber auch allen anderen Kalibrationsaufnahmen subtrahiert, d.h. die Signalwerte jedes Pixels der Biasframes werden von den Signalwerten der anderen Aufnahmen abgezogen. Ein solcher Master-Bias ist in Abbildung 21 für die C4-16000-Kamera dargestellt.

Da die Biasframes bis auf diesen Faktor situationsunabhängig sind, müssen Biasframes nicht für jede Aufnahme gemacht werden, sondern können wiederverwendet werden, insofern die Temperaturen abgestimmt sind. Da viele astronomische Kameras aktiv gekühlt werden, kann ein Archiv für Biasframes angelegt werden. Dennoch ist es sinnvoll, die Biasframes regelmäßig zu erneuern, da eine Kamera mit der Zeit durch z.B. neue defekte Pixel einen anderen Bias entwickeln kann.

Darkframes werden dazu genutzt, den sogenannten „Dunkelstrom“ zu messen, welcher ein Signal in den einzelnen Pixeln des Kamerasensors auslöst, während die Kamera belichtet. Dadurch ist der Dunkelstrom zeit- und temperaturabhängig. Darkframes müssen dementsprechend mit der gleichen Belichtungszeit wie die Lightframes aufgenommen werden, allerdings ist die Kamerablende hierfür geschlossen, um kein tatsächliches Signal zu erhalten.

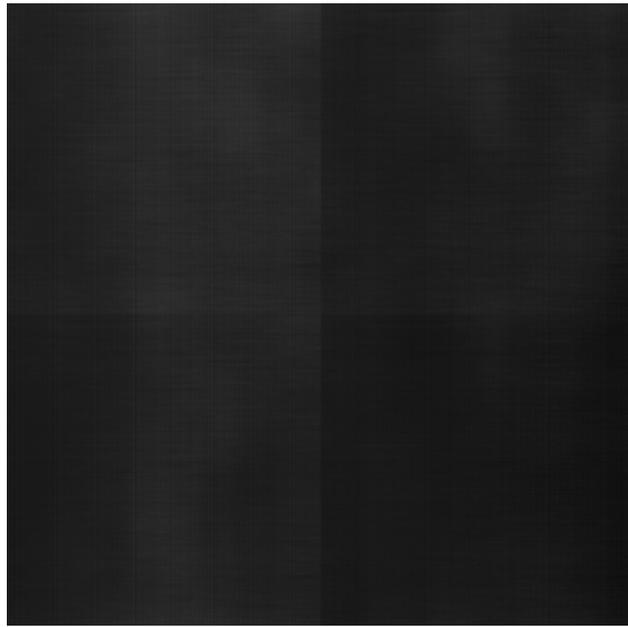


Abbildung 21: Master-Bias der C4-16000 Kamera, welche mit dem EHT der Dr. Karl Remeis-Sternwarte verwendet wird, aufgenommen bei ein Kamertemperatur von 0°C . Die Ausleseelektronik des Kamerasensors lässt vier Quadranten entstehen (eigene Darstellung).

Deshalb können Darkframes, so wie die Biasframes, gesondert aufgenommen werden, vorausgesetzt die gleiche Kamertemperatur ist gegeben. Aus diesem Grund können viele Astronomiekameras aktiv gekühlt werden, so auch die an der Sternwarte verwendeten.

Wie auch bei den Biasframes werden mehrere Darkframes aufgenommen, aus Zeitgründen jedoch oft weniger als die Biasframes. Diese werden ebenfalls zu einem „Master-Dark“ gemittelt um anschließend von den Lightframes subtrahiert zu werden.

Flatframes oder Flatfields werden dazu verwendet, ungleichmäßige Ausleuchtung des Sensors (auch Vignetting genannt) durch die optischen Instrumente oder Schmutz zu verbessern, aber auch die ungleichmäßige Empfindlichkeit der einzelnen Pixel selbst kann mithilfe der Flatframes korrigiert werden. Die Aufnahmen werden idealerweise mit einer sogenannten Flatfield-Lampe gemacht, eine Lampe die ein weißes Tuch mit weißen LEDs homogen ausleuchtet. Das dadurch entstandene Bild ist in der Theorie ebenfalls homogen, die entstandenen Unterschiede der Pixelsignale sind also zu korrigieren, was mit genau dieser Aufnahme geschehen kann. Da der

Sensor aktiv beleuchtet wird, muss die Belichtungszeit nicht besonders lang sein. Die Pixel sollten nicht gesättigt sein, aber die Flatframes sollten sich auch deutlich vom Rauschen abheben. Das Signal der Flatframes sollte dementsprechend etwa der Hälfte der Maximalwerte des Signals betragen. Diese Belichtungszeit liegt typischerweise im Bereich von Sekunden.

Da mithilfe der Flatframes insbesondere auch Schmutzeffekte korrigiert werden sollen (zu sehen als dunkle Kreise in Abbildung 22), müssen diese immer direkt vor oder nach einer Beobachtung aufgenommen werden, da sich der Staub auf dem Objektiv des Teleskops ständig ändert. Um statistische Effekte zu minimieren werden auch hier mehrere Aufnahmen gemacht.

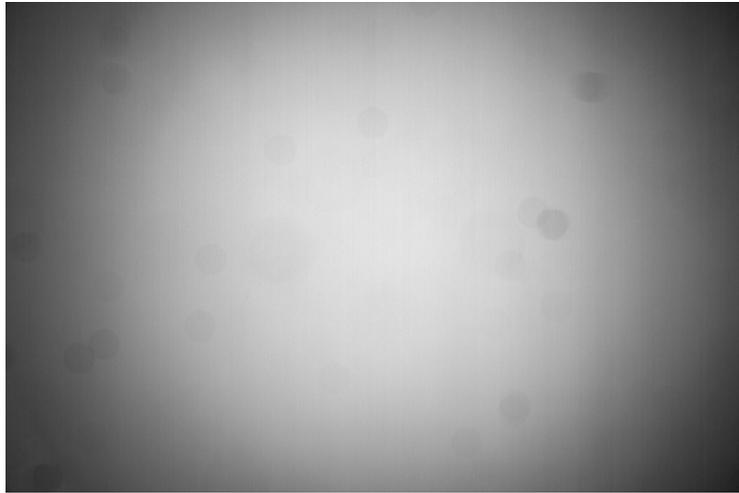


Abbildung 22: Master-Flat für Blaufilter der ASI6200mm Pro-Kamera des JRT der Dr. Karl Remeis-Sternwarte Bamberg. In den Ecken erkennbar sind Vignetting-Effekte, welche durch die optischen Elemente hervorgerufen werden, sowie dunkle Kreise, welche durch Schmutzpartikel auf den Spiegeln entstehen (eigene Darstellung).

Bevor die Flatframes zur Korrektur von Lightframes verwendet werden können, müssen sie erst selbst korrigiert werden. Einerseits wird von ihnen ebenfalls der Master-Bias subtrahiert, andererseits werden aufgrund der unterschiedlichen Belichtungszeit auch eigene Darkframes benötigt, welche auch als „Dark-Flatframes“ bezeichnet werden. Nachdem der Master-Bias und der Master-Dark-Flat von den einzelnen Flatframes abgezogen wurden, können die Flatframes zu einem Master-Flat gemittelt werden. Anschließend werden die Pixelwerte der (mit Bias- und Darkframes korrigierten) Lightframes durch die Pixelwerte des Master-Flats dividiert, um die Bildfehler zu beheben.

Die Flatframes müssen für jeden Filter separat aufgenommen werden, da sich das Licht unterschiedlicher Wellenlängen auch unterschiedlich verhält und dadurch unterschiedliche Flatframes erzeugt.

Lightframes

Die sogenannte Lightframes sind die eigentlichen Aufnahmen eines astronomischen Objektes und auch abgesehen von den Korrekturaufnahmen mit dem größten Aufwand verbunden. Die wichtigsten Aspekte sind hierbei die Fokussierung, das Guiding sowie die Nachbearbeitung.

Fokussierung ist notwendig, um ein möglichst scharfes Bild zu erhalten. Um das Teleskop zu fokussieren wird ein heller Stern verwendet, da der Prozess damit am einfachsten ist. Wenn das Teleskop stark unfokussiert ist, erscheint der Stern nicht als Punktquelle sondern als Ring. Das EHT der Sternwarte besitzt eine Autofokus-Funktion, die die Optik automatisch so einstellt, dass eine Punktquelle die kleinste Ausdehnung erreicht. Das CHT besitzt einen digitalen Fokussierer, der den Prozess stark vereinfacht, da der Fokus mithilfe einer Stellschrauber verändert werden kann, während man durch das Teleskop schaut oder Kameraaufnahmen gemacht werden. In schlechten Bedingungen, d.h. bei starkem Seeing kann es jedoch zu suboptimalen Ergebnissen führen, den Fokus anhand der kleinsten Ausdehnung zu bestimmen. In diesem Fall kann eine sogenannte „Bahtinov-Maske“ verwendet werden. Dabei handelt es sich um eine Platte mit drei zueinander angewinkelten Gittern, die im Teleskop ein deutlich erkennbares Beugungsmuster erzeugen, wie in Abbildung 23 zu sehen.

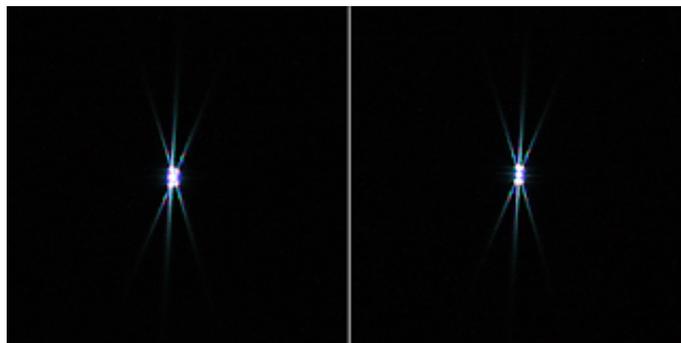


Abbildung 23: Beugungsmuster der Bahtinov-Maske bei der Fokussierung mit einem Stern. Links ist das Teleskop leicht außerhalb des Fokus, rechts ist es perfekt fokussiert. (RoryG, 2011)

Wenn das Teleskop nicht fokussiert ist, sind die drei Beugungsmaxima zueinander verschoben, wenn sie sich im Zentrum des Sterns schneiden ist der Fokus gefunden. **Guiding** bezeichnet die Orientierung des Teleskops mithilfe eines zusätzlichen, üblicherweise kleineren, Guiding-Teleskops, welches am Hauptteleskop befestigt ist. Da sich der Nachthimmel über dem Beobachter und dem Teleskop bewegt, muss dieses nachgeführt werden, um bei langen Belichtungszeiten ein scharfes Bild zu erhalten. Während die äquatoriale Halterung darauf ausgelegt ist, diese Nachführung zu vereinfachen, indem nur eine Rotationsachse mit konstanter Geschwindigkeit bewegt wird, kann es dennoch zu Unstimmigkeiten kommen. Deshalb wird das Guiding-Teleskop auf einen Stern in der Nähe des zu beobachtenden Objekts gerichtet. Dadurch kann eine Abweichung der Bewegung einfach erkannt werden. Hierzu kann am Guiding-Teleskop eine zweite Kamera angebracht werden, um eine Software die Nachführung des Teleskops steuern zu lassen. Ein Stern kann mit sehr kurzer Belichtungszeit aufgenommen werden, sodass die Software die Bewegung des Teleskops ebenfalls in kurzen Abständen anpassen kann, sodass Fehler in der Nachführung ausgeglichen werden.

Nachbearbeitung der Lightframes ist notwendig, um die Qualität der Fotografie zu verbessern. Dies beinhaltet den Einsatz der Korrekturaufnahmen, aber auch Stacking und die Komposition der verschiedenen Filteraufnahmen.

Beim Stacking wird hauptsächlich das Hintergrundrauschen reduziert, weshalb oft mehrere Lightframes mit kürzerer Belichtungszeit gemacht werden, anstelle eines einzelnen Bildes mit langer Belichtungszeit. Zudem werden unvorhergesehene Signale, wie die Lichtspur eines vorbeifliegenden Satelliten oder Flugzeugs durch Stacking entfernt. Das Stacking kann erst durchgeführt werden, wenn alle Lightframes mit den Korrekturaufnahmen einzeln korrigiert wurden. Anschließend können die gestackten Filteraufnahmen zu einem Farbfoto zusammengeführt werden, wofür verschiedene Programme eigene Funktionen besitzen.

Zum Abschluss der Aufnahme muss diese noch „gestreckt“ werden. Dabei werden die einzelnen Pixelsignale so aufteilt, dass das Bild gut erkennbar ist. Da während einer astronomischen Aufnahme, im Vergleich zu einer typischen Fotografie tagsüber, sehr wenig Licht auf den Sensor fällt, erreichen nur die wenigsten Pixel Signalstärke im oberen Bereich der Skala. Die meisten Pixel und damit das gesamte Bild sind deshalb sehr dunkel. Durch das Strecken werden dunklere Bildbereiche aufgehellt, während helle Bildbereiche nicht übersättigt werden. Der Effekt ist in Abbildung 24 und Abbildung 25 dargestellt.



Abbildung 24: Orion-Nebel, aufgenommen mit dem JRT der Dr. Karl Remeis-Sternwarte Bamberg in RGB-Breitbandfiltern mit einer Gesamtbelichtungszeit von 7 h. Die Aufnahme ist mit linearen Pixelwerten dargestellt, wodurch nur das Zentrum des Nebels und die hellsten Sterne im Hintergrund sichtbar sind (eigene Darstellung).



Abbildung 25: Orion-Nebel, aufgenommen mit dem JRT der Dr. Karl Remeis-Sternwarte Bamberg in RGB Breitbandfiltern mit einer Gesamtbelichtungszeit von 7 h. Die Aufnahme ist gestreckt, sodass der gesamte Nebel sichtbar ist (eigene Darstellung).

Im Vergleich der Wellenlängenbereiche der optischen Filter (siehe Abbildung 19) mit dem Spektrum des Orion-Nebels (siehe Abbildung 26) können die Ursprünge der verschiedenen Farben in der Fotografie bestimmt werden. Im roten Bereich (580 nm-700 nm) sind zwar die Emissionslinien SIII (ca. 632 nm) oder NII (ca. 658 nm) zu erkennen, jedoch wird das rote Spektrum deutlich durch die $H\alpha$ -Linie bei 656 nm dominiert. Zudem fällt die HeI-Linie bei ca. 588 nm auf, jedoch sind sowohl der rote als auch der grüne Filter bei dieser Wellenlänge nur teilweise transparent, weshalb die Farbe der Aufnahme durch diese Linie weniger beeinflusst wird. Dennoch ist, im Vergleich recht dunkel, an den Rändern der kleineren hellen Region links im Bild die Farbe eher gelblich, was durch Helium verursacht sein könnte. Der grüne Filter (ca. 490 nm-580 nm) weist fast keine signifikanten Emissionslinien auf. Neben der erwähnten, nur teilweise transmittierten HeI-Linie treten lediglich zwei OIII-Linien (ca. 501 nm und 496 nm) auf. Diese sind jedoch auch im blauen Filter (<510 nm) enthalten, sodass Sauerstoff im Foto als Türkis zu erkennen ist. Im blauen Bereich ist jedoch auch die $H\beta$ -Linie (ca. 486 nm) sichtbar. Die Intensität wird allerdings durch die rote $H\alpha$ -Linie deutlich übertroffen, sodass Wasserstoff rot und nicht blau erscheint. Dort, wo sowohl Sauerstoff als auch Wasserstoff zu sehen ist, überlagern sich alle drei Filter, sodass diese Regionen weiß erscheinen.

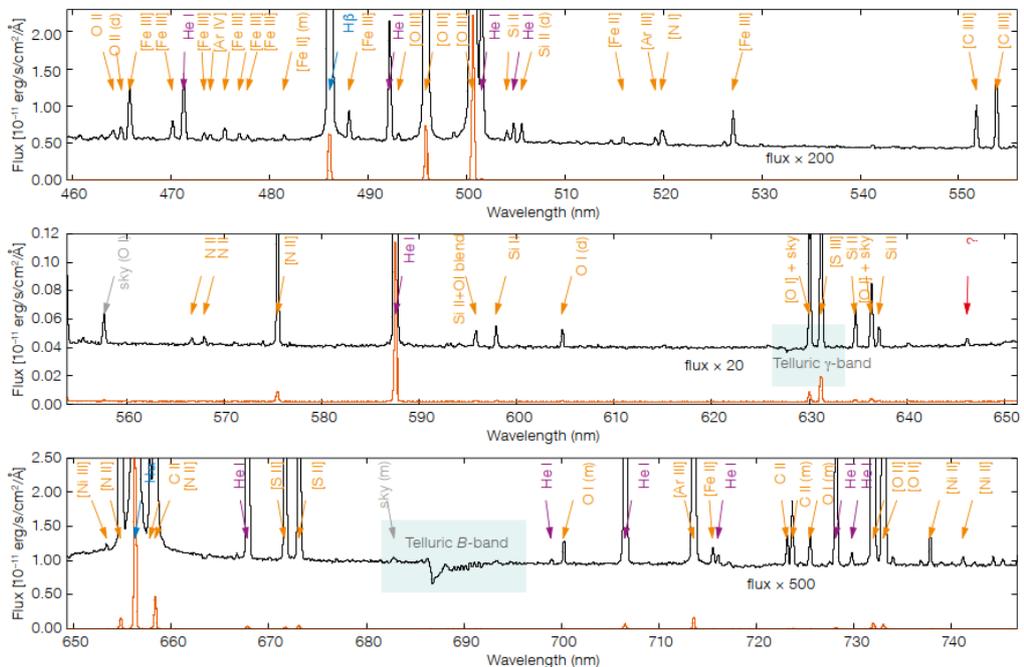


Abbildung 26: Spektrum des Orion-Nebels für optische Wellenlängen. Die verschiedenen Emissionslinien sind farbig markiert (Ausschnitt nach Weilbacher u. a., 2015).

1.7 Lichtverschmutzung

Während bereits im 15. Jhd. die ersten Straßenbeleuchtungen aufkamen, dauerte es bis ins späte 19. Jhd., dass Straßen und ganze Städte weitreichend künstlich erhellt wurden. Dies wurde durch die Entwicklung und Kommerzialisierung der Glühlampe um 1879 deutlich verstärkt. Während der Einfluss dieser frühen Beleuchtungen auf die Umwelt sowie astronomische Beobachtungen schnell erkannt wurden, wurde der Begriff „Lichtverschmutzung“ erstmalig in den 1960er Jahren gebraucht (vgl. Meier u. a., 2015; Shrimplin, 2023). Der Begriff beschreibt künstliches Licht in anderweitig dunklen Bedingungen. Im Kontext der Astronomie bezieht er sich insbesondere auf die hellere Erscheinung des Nachthimmels. Durch die Streuung von Licht an Atmosphärenpartikeln kommt es zur Schwächung der Beobachtungsqualität, wenn in der Nähe des Beobachtungsstandortes viel künstliches Licht, z.B. durch Großstädte, erzeugt wird.

Lichtverschmutzung sorgt dafür, dass Himmelsobjekte mit einer niedrigen Helligkeit nicht beobachtet werden können, da das zusätzliche künstliche Licht die Umgebungshelligkeit so stark erhöht, dass diese sich nicht mehr vom Hintergrund abheben.

Um die Lichtverschmutzung zu messen gibt es mehrere Skalen und Verfahren, am weitesten verbreitet sind die Bortle-Skala und die Night Sky Brightness (deutsch: Nachthimmelhelligkeit), die mit Hilfe des „Sky Quality Meter“ gemessen wird und deshalb oft als „SQM-Wert“ angegeben wird. Dieser hat die Einheit $\text{mag}/\text{arcsec}^2$ und misst die Helligkeit des Himmels im Zenit.

Die Bortle-Skala

Im Gegensatz zum SQM-Wert ist die Bortle-Skala ein subjektives Messinstrument, das zur Bewertung eines Beobachtungsstandortes verwendet wird, um die Eignung zur Echtzeit-Beobachtung einzuschätzen. Es kommt dabei kein Messinstrument zum Einsatz. Die Bortle-Skala wird durch Beobachtung mit bloßem Auge bestimmt, was zu inherenten Schwankungen führt. Dennoch ist sie ein nützliches, weil einfaches Verfahren, die Lichtverschmutzung und Beobachtungsqualität grob einzuschätzen. Die Bortle-Skala teilt die Lichtverschmutzung in neun Stufen von B1 bis B9 ein, wobei mehrer menschlich-visuelle Merkmale, wie das Aussehen von Wolken und die Sichtbarkeit bestimmter Himmelskörper sowie der Milchstraße, zur Bestimmung verwendet werden. Die Übergänge zwischen den Skalenwerten sind daher fließend

und können sich je nach Beobachtungszeitpunkt ändern.

Ein exzellenter dunkler Himmel der Stufe B1 oder B2 lässt sich beispielsweise an der Sichtbarkeit des Zodiakallichtes erkennen. Weitere Merkmale beinhalten die sehr gute Sichtbarkeit der Galaxie M33 mit bloßem Auge, die stark detaillierte Milchstraße, die sogar diffuse Schatten wirft, und Wolken, die lediglich als schwarze Flecken erkennbar sind, wo eigentlich Sterne zu sehen sein sollten.

Auch bei suboptimalen Bedingungen, insbesondere Werten in der unteren Hälfte der Bortle-Skala, sind viele interessante Himmelsobjekte mit bloßem Auge und besonders mit Teleskopen oder Ferngläsern zu sehen. Bei Werten von B6 oder höher sind astronomische Beobachtungen, besonders ohne fotografische Ausrüstung nur noch schlecht durchführbar. Merkmale um zwischen den Werten B5 und B6 zu unterscheiden sind insbesondere die Milchstraße, die bei B5 noch schwach als grobe Struktur, bei B6 aber nicht mehr sichtbar ist, und das Aussehen von Wolken, die bei B6 am ganzen Himmel hell erscheinen. Bei B5 sind Wolken nur in Richtung Lichtverschmutzten Gebieten am Horizont erhellt, im Zenit erscheinen sie jedoch dunkler.

Ein Himmel der Stufe B9, auch als „Großstadthimmel“ bezeichnet, ist bereits sehr einfach durch fehlende Sterne zu erkennen, wodurch Sternbilder unvollständig oder gar nicht mehr erkennbar sind. Zudem erscheint der ganze Himmel deutlich in, je nach Umgebung, weißem oder gelbem Licht erleuchtet und Wolken sind klar und hell erkennbar. Die Milchstraße und andere Deep-Sky Objekte wie M31 sind längst nicht mehr erkennbar und am Boden sind Objekte klar zu sehen und Schrift ist einfach lesbar. (vgl Bortle, 2001).

1.8 Raumfahrt und Weltraumteleskope

Mit dem Beginn der Raumfahrt durch den Start der Sputnik 1 Mission im Jahr 1957 begann auch ein weiteres essentielles Kapitel in der Geschichte der Astronomie. Einerseits revolutionierte das Verlassen der Erdoberfläche in diesem Sinne die Astronomie als Wissenschaft zur Erforschung des Weltalls, da durch die Raumfahrt nun auch, in gewissem Rahmen, vor Ort geforscht werden kann. Nur zwölf Jahre später betrat die Menschheit im Jahr 1969 erstmalig einen fremden Himmelskörper: den Mond. Bereits im vorherigen Jahr wurde ein weiterer Meilenstein erreicht: das

erste Weltraumteleskop, genannt „Stargazer“, wurde in Betrieb genommen. Dies war besonders wichtig für die Forschung, denn bereits in den 1830er Jahren wurde vermutet, dass die Erdatmosphäre bestimmte Wellenlängen des Lichts absorbiert (vgl. King, 1956). Tatsächlich ist sie nur für elektromagnetische Wellen im optischen und Radiobereich sowie bestimmte infrarote Wellenlängen durchsichtig, wie Abbildung 27 zeigt. Deshalb ermöglicht der Aufbau des Teleskops im Weltraum neue Möglichkeiten zur Beobachtung.

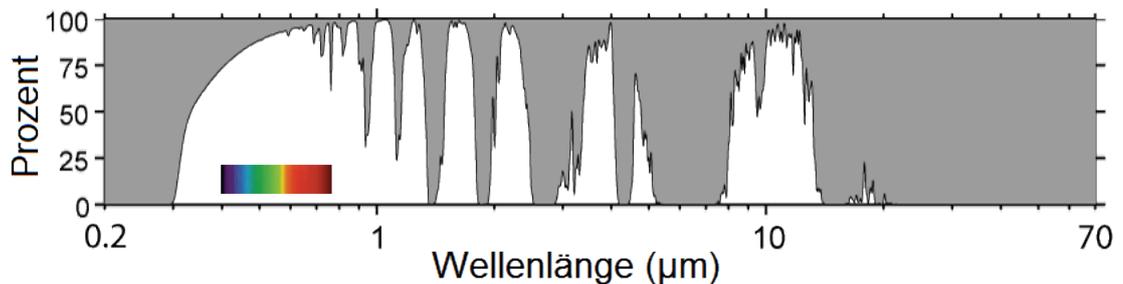


Abbildung 27: Absorptionsgrad elektromagnetischer Wellen der Erdatmosphäre in Prozent. Grau zeigt Absorption an, weiß Transmission. Der optische Wellenlängenbereich ist farblich markiert. (SEOS-Projekt)

James Webb Space Telescope

Ein weiteres Beispiel für ein solches Weltraumteleskop ist das James Webb Space Telescope (kurz: JWST), welches im Jahr 2021 in Betrieb genommen wurde. Dabei handelt es sich um ein Infrarot-Teleskop, was konstruktive Besonderheiten erfordert. Zwar sind die grundlegenden physikalischen Phänomene, wie Lichtreflexion, für alle Teleskope gleich, jedoch sind für unterschiedliche Wellenlängenbereiche Anpassungen nötig. So ist z.B. die Auflösung (siehe Gleichung 1.22) Wellenlängenabhängig, sodass für größere Wellenlängen als die optischen auch größere Teleskope benötigt werden, um die gleiche Auflösung zu erreichen. Andererseits sind unterschiedliche Materialien für unterschiedliche Wellenlängen als Spiegel geeignet. In Abbildung 28 ist beispielsweise erkennbar, dass Aluminium das gesamte optische Spektrum (zwischen 350 nm und 700 nm) sehr gut reflektiert, Gold dagegen bis ca. 500 nm mehr als 50% der Energie absorbiert. Im Gegensatz dazu ist es bei Wellenlängen über 600 nm nahezu perfekt reflektiv. Da das JWST für Wellenlängen zwischen $0,6\text{ }\mu\text{m}$ und $28\text{ }\mu\text{m}$ ausgelegt ist, sind dessen Spiegel mit Gold beschichtet (vgl. NASA, 2016).

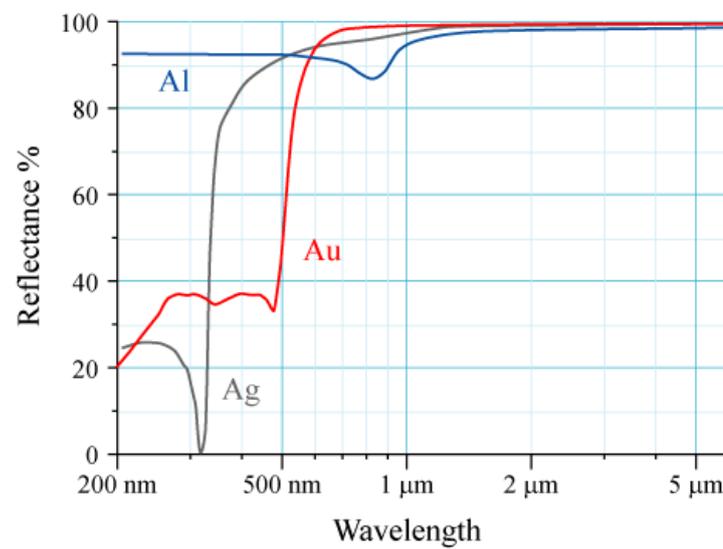


Abbildung 28: Reflexionsgrad verschiedener Metalle bei senkrecht einfallender elektromagnetischer Strahlung verschiedener Wellenlängen: Rot entspricht Gold, Grau entspricht Silber und Blau entspricht Aluminium. (Mellish, 2005)

2 Didaktisch-methodische Konzeption der Führung

2.1 Didaktisch-methodische Grundlagen

2.1.1 Präkonzepte

Die Aufgabe von Unterricht ist es, den Lernenden Informationen zu vermitteln und ihnen Kompetenzen beizubringen. Doch Schülerinnen und Schüler nehmen ihre Umgebung wahr auch außerhalb des Unterrichts wahr, sprechen mit Eltern, Klassenkameraden und anderen Mitmenschen, und machen sich Gedanken zu dem, was sie erleben. Während alle Fachrichtungen mit diesem Vorwissen und eigens erdachten Ideen umgehen müssen, sind diese sogenannten Präkonzepte und Schülervorstellungen in der Physik von besonderem Stellenwert. Die Physik sucht nach Erklärungen, wie die Welt funktioniert. Ein Prinzip, das Kinder bereits ab frühem Alter unbewusst verinnerlicht haben, während sie die Welt erleben. Im Gegensatz zur Wissenschaft, die das Ergebnis von Jahrhunderten Kollaboration von Millionen von Menschen ist, und dementsprechend präzise und gesicherte Theorien beinhaltet, entstehen in den Gedanken der Kinder Erklärungen, die ein einzelnes Phänomen „gut genug“ beschreiben, aber oftmals bei genauerer Untersuchung weiterer Zusammenhänge nicht ausreichen. Diese einfachen Konzepte beeinflussen wiederum, wie neues Wissen aufgenommen und verarbeitet wird.

Beispielsweise wird ein 10-jähriger Schüler nicht verstehen, dass der Ortsfaktor für den freien Fall für alle Objekte gleich ist, wenn er denkt dass „schwere“ Objekte schneller fallen als „leichte“. Diese Vorstellung ist weit verbreitet (vgl. Schecker u. a., 2018), und zwar mit gutem Grund. Im Alltag fallen „leichte“ Objekte mit geringer Masse und Dichte, gegebenenfalls auch passender Form (z.B. Federn,

Papierblätter, Luftballons) oft sichtbar langsam zu Boden, während kompakte Objekte mit höherer Masse und Dichte („schwere“ Objekte) so schnell fallen, dass eine Unterscheidung der Geschwindigkeit nicht ohne Messgerät möglich ist. Dem Schüler fehlt in dieser Situation das Grundwissen zu (Luft-)Reibung und Auftriebskraft, um solche Phänomene in die Erklärung mit einzubeziehen. Gleichzeitig reichen die Kategorien „leicht“ und „schwer“ aus, um den Großteil seiner Beobachtungen zu erklären, weshalb er nicht nach neuen Erkenntnissen forschen muss.

Präkonzepte sind also keinesfalls falsch oder ein Hindernis, denn die erdachten Konzepte des Schülers beinhalten bereits viele richtige Ideen, auf die von einer Lehrkraft aufgebaut werden kann. Dichte (und damit auch Masse) haben direkten Einfluss auf die Auftriebskraft. Luftreibung ist ein Aspekt der im Physikunterricht und Physikaufgaben oft vernachlässigt wird, ist für die grundlegende Erklärung von beobachtbaren Phänomenen jedoch unverzichtbar. Den Ortsfaktor kann man nur als „für alle Objekte gleich“ erfahren, wenn man einen freien Fall im Vakuum beobachtet. Es ist also eine Aufgabe für die Lehrkraft, das Thema verständlich und mit Rücksicht auf Präkonzepte zu präsentieren.

Weiterhin ist es wichtig anzumerken, dass Präkonzepte nicht nur bei Kindern auftreten. Viele Erwachsene und selbst Studierende und Wissenschaftler/innen haben Vorstellungen, die nicht mit der fachwissenschaftlichen Erklärung übereinstimmt.

Gerade in der Astronomie sind viele Präkonzepte vorhanden, da zwar eine Vielzahl Phänomene direkt beobachtbar, aber nicht greifbar ist. Die Mondphasen kann man über den Zeitraum eines Monats am Himmel sehen, aber sich den Zusammenhang nicht aus einer anderen Perspektive „als Ganzes“ ansehen. Ein weit verbreitetes Präkonzept hier ist, dass die Mondphasen durch den Schatten entstehen, den die Erde auf den Mond projiziert (vgl. Danaia und Mckinnon, 2007). Tatsächlich handelt es sich jedoch um den Eigenschatten des Mondes, der dadurch entsteht, dass dieser nur auf einer Seite von der Sonne beleuchtet wird. Viele andere Präkonzepte in der Astronomie sind auch dadurch verbreitet, dass Medien astronomische Phänomene nicht korrekt, unvollständig oder verkürzt darstellen. Beispielsweise sind die Erklärungen zur Natur von Sternen, je nach Quelle, sehr unterschiedlich und reichen von „Sterne sind Kugeln aus heißem Gas.“ (Planet-Schule, 2025) bis zu „Sterne bestehen aus Wasserstoff und Helium, sie leuchten weil sie durch Kernfusion Licht und Wärme erzeugen“ (Zuckermann, 2019). Die wenigsten Websites oder Zeitschriften, die keine Wissenschaftler als Zielgruppe haben, erwähnen Phänomene wie hydrostatisches Gleichgewicht oder Strahlungsdruck.

2.1.2 Didaktische Rekonstruktion

Verkürzungen wie in Unterabschnitt 2.1.1 beschrieben, sind nicht unbedingt problematisch, denn die meisten Laien, insbesondere jüngere Schülerinnen und Schüler, wären von detailreichen, wenn auch korrekten, Erklärungen überfordert was den Lernprozess von vornherein nahezu unmöglich machen würde. Sofern eine Vereinfachung den physikalischen Prozess nicht grundlegend verfälscht, ist sie sehr hilfreich, sogar notwendig. Das didaktische Feingefühl ist dabei von konstruktivistischen Lernschritten geleitet, ein einfaches „Weglassen“ von zu kompliziert erachteter Information ist dahingehend nicht zielführend. In diesem Sinne soll auch das Wissen, das während einer Führung an der Sternwarte vermittelt wird nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion nach Kattmann, 2015 aufgearbeitet werden.

Dabei stehen drei Kernaspekte im Vordergrund:

- Fachliche Klärung: Die aktuellen Theorien, Fachbegriffe und Erkenntnisse der Wissenschaft.
- Lernpotential-Diagnose: Der Kenntnisstand, die Fähigkeiten und Kompetenzen sowie Präkonzepte der Lernenden
- Didaktische Strukturierung: Die Lernangebote, Lernumgebung und der Unterricht von Seite der Lehrenden

Fachliche Klärung

Um einen Sachverhalt zu unterrichten, muss die Lehrkraft diesen Sachverhalt zunächst selbst verstanden haben. Insbesondere sollten zu einem gegebenen Thema auch aktuelle Forschungsergebnisse konsultiert werden, bevor eine Unterrichtseinheit erstellt wird. Viele Themenschwerpunkte der Schulphysik, z.B. Newtonsche Mechanik, sind selten Fokus aktueller Forschung. Dennoch sollten verschiedene Quellen zur Erstellung einer Unterrichtssequenz eingebracht werden. Einerseits sind Lehr- und insbesondere Schulbücher selten frei von Vereinfachungen, andererseits besitzen auch Lehrkräfte ihre eigenen Präkonzepte. Aus diesem Grund ist es unerlässlich sich kritisch mit einem Thema aus Sicht der Fachwissenschaft in einem didaktischen

Kontext zu beschäftigen. Hier sollten nicht nur die wissenschaftlichen Erklärungen und Aussagen betrachtet, sondern auch die Grenzen von Theorien und Modellen erkundet werden, es muss der Kontext von Fachbegriffen erfasst und die Sinnhaftigkeit von Fachtermini im Unterricht geklärt werden.

Es ist beispielsweise unabdingbar, sich damit auseinanderzusetzen was „Licht“ im fachwissenschaftlichen und alltäglichen Kontext ist (welcher Wellenlängenbereich der elektromagnetischen Strahlung fällt unter den Sammelbegriff Licht, und was gibt es für Arten von Licht?), oder ob das Modell der Strahlenoptik für ein Phänomen (z.B. die Spiegelung im Teleskop) eine ausreichende Erklärung darstellt.

Lernpotential-Diagnose

Die Lernpotential-Diagnose stellt einen Schwerpunkt der didaktischen Rekonstruktion dar, der im Kontext einer Sternwartenführung nur relativ ungenau beachtet werden kann. Im Idealfall würde sich eine Lehrkraft auf die Fähigkeiten und Interessen ihrer Schülerinnen und Schüler einstellen um den Unterricht zu gestalten. Dies ist hier nicht möglich, da jedes mal neue, unbekannte Besucher durch die Sternwarte geleitet werden, deren individuelles Vorwissen und kognitive Fähigkeiten nicht bekannt sind.

Dennoch sollten sich die Guides der Sternwarte auf unterschiedliche Lehransätze und Erklärungsstrukturen für die verschiedenen Altersklassen vorbereiten. Dabei ist der Vorwissenstand der Besucher eine angemessene Ausgangsposition. Für Schülerinnen und Schüler kann sich dafür am „LehrplanPLUS“ des Staatsinstituts für Bildungsforschung Bayern orientiert werden. Auf pädagogische Grundideen wird in Unterabschnitt 2.2.2 näher eingegangen.

Didaktische Strukturierung

Die didaktische Strukturierung ist nun die Synthese aus Lernpotential-Diagnose und fachlicher Klärung. Hier werden die fachwissenschaftlichen Erklärungen und Schülervorstellungen gegenüber gestellt und verglichen, um Verbindungen herstellen zu können. Das Ziel ist dabei nicht nur, die Vereinfachung der Wissenschaft auf ein verständliches Maß, sondern auch die Identifikation von Lernschwierigkeiten. Es muss nicht nur die Schülervorstellung auf Ansatzpunkte und Fehler aus Sicht der Wissenschaft untersucht werden, sondern auch die Wissenschaft auf ihre Verständlichkeit

und den Lebensweltbezug von Seite der Lernenden geprüft werden, um in dieser wechselseitigen Beziehung eine sinnvolle Lernerfahrung gestalten zu können.

2.2 Konzeption der Führung

2.2.1 Zielsetzung

Zur Planung ist ein unablässiger Schritt, inhaltliche Ziele zu setzen, die den Gästen vermittelt werden soll. Sie sollen die Sternwarte nicht nur ansehen, sondern ihren historischen und modernen Zweck verstehen und über die Forschung in der Astronomie lernen. Solche Lernziele können in drei sogenannte „Lernzieldimensionen“ eingeteilt werden (vgl. Riedl, 2010):

- **Affektive Ziele** beziehen sich auf die Emotionen, Einstellungen und Werte der Lernenden. Insbesondere soll bei der Führung das Interesse an Astronomie und physikalischer Forschung geweckt werden. Die Physik soll nicht wie stereotypisch dargestellt aus Formeln bestehen, die an eine Tafel geschrieben und gelöst werden, sondern durch erfahrbare Experimente und Modelle zugänglich gemacht werden. Gleichzeitig sollen Gäste ermutigt werden, Fragen zu stellen und Ideen zu äußern, um somit die Eigeninitiative zu fördern.
- **Kognitive Ziele** bezeichnen diejenigen Lernziele, die auf den Inhalt ausgerichtet sind, also Methoden, Theorien, Konzepte und Regeln. Es geht hier beispielsweise um Aufbau und Funktionsweise von Teleskopen, aber auch wie diese praktisch zu verwenden sind und dass man sie niemals (ohne entsprechende Schutzmaßnahmen) auf die Sonne richten darf. Das Erreichen solcher Ziele kann besonders durch Vorführungen und Modelle unterstützt werden.
- **Psychomotorische Ziele** sind auf aktive Handlungen der Lernenden ausgerichtet. Dabei geht es im Sinne der Führung nicht darum, dass die Gäste lernen das Teleskop selbst zu bedienen, sondern dass sie in die Führung und physikalischen Experimente mit eingebunden werden. Sie sollen nicht nur Zuschauer, sondern aktive Teilnehmer sein. Dies kann beispielsweise durch Schülerexperimente am Gravitationstisch und das Beobachten mit dem Teleskop erreicht werden.

2.2.2 Schülerinnen und Schüler als Zielgruppe

Das hier ausgeführte Konzept ist für Kinder und Jugendliche von der fünften bis 13. Klasse gedacht. Während die Inhalte für alle Besucher interessant sind, sind die Experimente, „Mitmach-Momente“ und Methoden an den Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler orientiert. Dabei sind Unterschiede zwischen Klassenstufen nicht zu vernachlässigen. Jüngere Kinder, etwa zwischen der fünften und neunten Klasse sind eher durch Mitmachexperimente zu begeistern und wollen selbst entdecken, während die älteren Schülerinnen und Schüler aufgrund der fortgeschrittenen Entwicklung des präfrontalen Cortex auch abstrakteren Experimenten und Modellen folgen können (vgl. Urhahne u. a., 2019).

Schwächen und Ungenauigkeiten eines Modells, die Erwachsenen und insbesondere Physikern bewusst sind oder logisch erscheinen, werden von Kindern eventuell nicht wahrgenommen und das ganze Modell als „die Wahrheit“ angesehen. Umgekehrt auch können die Schwächen auffallen, was dazu führt, dass das ganze Modell als unsinnig erklärt wird. Aus diesem Grund ist es immer wichtig, die Schwächen eines Modells zu erklären, aber auch dessen Zweck und Nutzen trotz dieser Schwächen zu verdeutlichen.

Ein Beispiel stellt hier das beleuchtete Tellurium in der Eingangshalle der Sternwarte Bamberg dar. Dieses mechanisch betriebene Modell stellt das innere Sonnensystem dar, wobei die Sonne durch eine Glühlampe dargestellt ist und sich die Erde, zusammen mit dem Mond um diese Sonne bewegt und sich dabei um sich selbst dreht. Um die Modellgröße in einem praktischen Rahmen zu halten sind die äußeren Planeten sind nur auf die Kugel, die das Modell umgibt, aufgedruckt. Dieses Modell zeigt einerseits abstrakt das Sonnensystem, kann also schlicht als visueller Anhaltspunkt zur Erklärung dienen, aber es zeigt insbesondere auch, wie Tag und Nacht entstehen, die Jahreszeiten können dank der geneigten Rotationsachse erklärt werden und Sonnen- und Mond-finsternis können gezeigt werden. Diesen Zweck erfüllt das Tellurium ausgezeichnet. Eine eindeutige und sehr relevante Schwäche des Modells ist jedoch die Skalierung. Die Abstände und Größen der Himmelskörper sind vollkommen fehlerhaft dargestellt. Die Planeten sind, erneut aus Platzgründen, alle deutlich zu nah beieinander. Zudem sind Merkur, Venus und Mars viel zu klein im Vergleich zur Erde, weil dieser Planet hervorgehoben werden soll. Zuletzt ist die Sonne erheblich zu klein, was dem Umstand geschuldet ist, dass es sich dabei um eine funktionierende Glühlampe handelt. Eine größere Lampe würde zu viel Energie verbrauchen und wäre zu hell, um einen sinnvollen Mehrwert zu bieten.

Aus diesem Grund sind die hier vorgestellten Inhalte und Experimente so gestaltet, dass sie ohne Mehraufwand für die Guides für alle Altersgruppen und Wissenstände zugänglich gemacht werden können.

Schülervorstellungen

Im Folgenden sollen nun einige Schülervorstellungen aufgeführt werden, die im Kontext einer Sternwartenführung wichtig sind. Es sei hier noch einmal angemerkt, dass im Text die Worte „Kinder“ und „Schülerinnen und Schüler“ verwendet werden, die Vorstellung können aber auch bei Erwachsenen auftreten.

Die Mondphasen entstehen durch den Erdschatten: Lernende entwickeln die Vorstellung, dass die Mondphasen dadurch entstehen, dass die Erde einen Schatten auf den Mond wirft, und deshalb nur ein Teil der Mondscheibe sichtbar ist. In der Realität ist es jedoch der Eigenschatten des Mondes, der die Mondphasen verursacht. Ein Teil der von der Erde aus sichtbaren Mondoberfläche wird nicht von der Sonne bestrahlt, da er ihr abgewandt ist. Diese fehlerhafte Vorstellung wird oft dadurch verstärkt, dass im Schulunterricht die Themen Sonnen- und Mondfinsternis behandelt werden, bei denen die Schatten von Mond und Erde tatsächlich eine Rolle spielen, aber Mondphasen nicht unterrichtet werden. Insofern fehlt den Lernenden die nötigen Informationen und Kenntnisse, sich das Phänomen selbst korrekt herzuleiten, was schließlich zu einer falschen Vorstellung führt (vgl. Danaia und Mckinnon, 2007).

Die Sonne ist kein Stern: Viele Schülerinnen und Schüler verstehen die Sonne als etwas besonderes, das sich gegenüber allen anderen Himmelskörpern abhebt, und demnach auch eine eigene Kategorie bildet. Insbesondere besteht auch häufig der Irrglaube, es gäbe andere Sterne in unserem Sonnensystem. Generell sind viele Begriffe aus der Astronomie bekannt, deren genaue Bedeutung jedoch nicht. Es gibt beispielsweise die Vorstellung, dass das Sonnensystem eine Galaxie ist, oder es ist nicht klar, was für Unterschiede es zwischen Monden, Planeten und anderen Himmelskörpern gibt (vgl. Agan, 2004; Schecker u. a., 2018).

Vorstellungen zum Sonnensystem: Es besteht bei vielen Schülerinnen und Schülern ein ungenaues Bild vom Aufbau des Sonnensystems. Die Form ist aus wissenschaftlicher Sicht mit den Größen, Entfernungen und möglichen Positionen der Planeten und Monde entlang ihrer entsprechenden Orbits sowie der Sonne sehr genau

beschrieben. Im Gegensatz dazu gibt es bei Lernenden verschiedene Vorstellungen. Beispielsweise werden die Planeten zusammen mit der Sonne und zum Teil auch anderen Sternen als „Haufen“ ohne Anordnung oder Umlaufbahnen dargestellt. In anderen Vorstellungen ist zwar eine Ordnung vorhanden, jedoch können z.B. mehrere Planeten den gleichen Orbit besitzen (vgl. Loch und Ubben, 2023).

Der Erdorbit ist ein gestauchter Kreis: Im Schulunterricht wird oft davon berichtet, dass die Erde keinen kreisförmigen Orbit um die Sonne hat, sondern einen elliptischen. Das ist streng genommen korrekt, jedoch entsteht dadurch die Vorstellung, dass die Erde zu einem Zeitpunkt des Jahres signifikant weiter von der Sonne entfernt ist als zu einem anderen, Kinder nehmen also an, dass diese Ellipse eine hohe Exzentrizität von beispielsweise 0.5 besitzt. In Wahrheit ist diese Exzentrizität mit einem Wert von 0.0167 fast vernachlässigbar. Schwierigkeiten mit dieser Vorstellung gibt es dann, wenn daraus weitere Präkonzepte entstehen, beispielsweise, dass die Jahreszeiten durch die Änderung des Abstandes zwischen Erde und Sonne entstehen (vgl. Schecker u. a., 2018).

Sterne sind brennende Gase: Die inneren Vorgänge eines Sterns sind Kindern oft unbekannt, weshalb versucht wird, ein eigenes Erklärungsmuster zu schaffen. Es ist bekannt, dass Sterne leuchten oder glühen. Viele Lernende haben auch schon einmal gehört, dass Sterne aus Gas bestehen, weshalb sie zu dem Schluss kommen, sie „brennen“. Der Vergleich zum chemischen Prozess wird gezogen. Diese Vorstellung kann dazu führen, dass es weiterführende Probleme zur Vorstellung von Sternen, beispielsweise zur Entstehung oder zu Supernovae, nicht verstanden werden können (vgl. Agan, 2004; Schecker u. a., 2018).

Schwerkraft wirkt im Weltall nicht: Manche Kinder sind der Meinung, dass „Schwerkraft“ etwas ist, das es nur auf der Erde gibt, oder zumindest nur auf der Oberfläche von Himmelskörpern. Die Schwerelosigkeit auf Raumstationen ist dann damit erklärt, dass diese weit weg von der Erde seien. Sobald man sich weit genug von einem Himmelskörper entfernt hat, wirkt keine Schwerkraft mehr. Dabei gibt es zum Teil auch die Vorstellung, dass Schwerkraft und Gravitation etwas grundlegend Unterschiedliches sind (vgl. Schecker u. a., 2018).

Fehlvorstellungen zu Größenordnungen im Weltall: Die wenigsten Schülerinnen und Schüler haben eine Vorstellung davon, welche Größe und Entfernung zueinander verschiedene Himmelskörper wie Planeten und Sterne haben. Einerseits fehlt das Vermögen, die Größenordnungen überhaupt einzuschätzen. Andererseits sind auch die Verhältnisse untereinander, beispielsweise Entfernungen innerhalb und außerhalb

des Sonnensystems, vielen vollkommen fremd. In diesem Sinne gibt es Kinder die zwar verstehen, dass Sterne keineswegs leuchtende Punkte im All sind, aber denken dass es sich um kleine Lichter am Rande des Sonnensystems handelt und ihre Entfernung von der Erde nicht wesentlich größer ist als die zu den anderen Planeten im Sonnensystem. In dieser Vorstellung ist die Sonne oft das größte Objekt im Universum. In anderen Konzepten sind die Planeten alle etwa gleich groß und ihre Entfernung zueinander ist nicht wesentlich größer als ihre Ausdehnung. Die Ursache für diese Schülervorstellung ist neben dem schwierigen Verstehen und Einordnen der enormen Zahlen auch die falsche Darstellung des Weltalls in vielen Medien und Kinderbüchern, z.B. Abbildung 29 (vgl. Miller und Brewer, 2010).

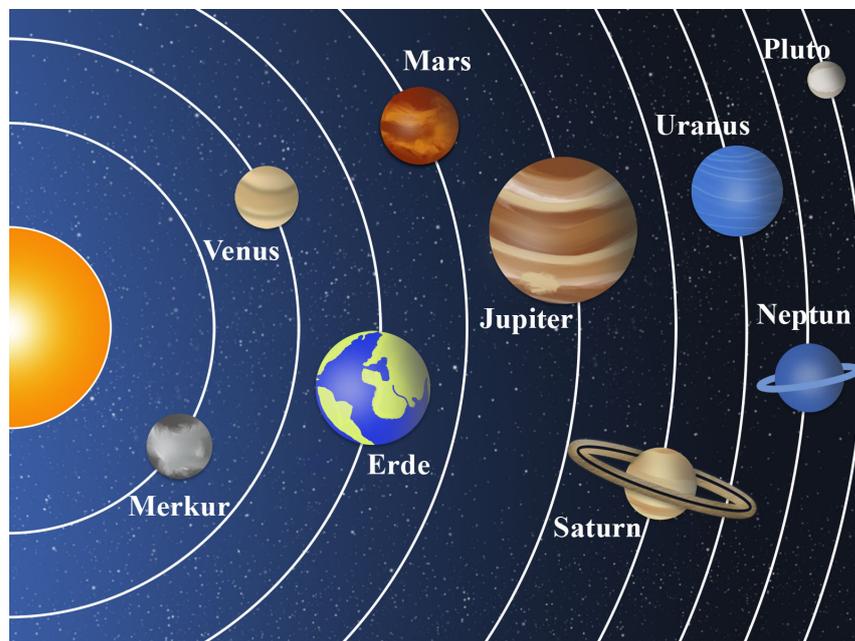


Abbildung 29: Darstellung des Sonnensystems mit stark fehlerhaften Größen- und Entfernungsverhältnissen. (Goruma, 2024)

Die IR-Kamera sendet ein Signal aus: Bezüglich Messgeräten herrscht oft die Vorstellung, dass diese aktiv agieren anstatt etwas passiv wahrzunehmen. So gehen Kinder davon aus, dass eine Kamera, insbesondere Infrarot-Sensoren, erst ein Signal aussenden, ähnlich einem Echolot (vgl. Schecker u. a., 2018).

Infrarotstrahlung ist Rot, Ultraviolettstrahlung ist Blau: Viele Schülerinnen und Schüler gehen davon aus, dass Ultraviolette und Infrarote Strahlung für menschliche Augen keineswegs unsichtbar sind, sondern rot oder blau erscheinen. Diese Vorstellung kommt zum Teil daher, dass Alltagsgegenstände zusätzlich zum UV- oder IR-Licht auch Licht im sichtbaren Bereich aussenden, insbesondere in der

entsprechenden Farbe (vgl. Schecker u. a., 2018).

Künstliche/Natürliche Strahlung: Schüler und Schülerinnen haben oft die Vorstellung, dass Strahlung etwas künstliches sei, etwas das von Geräten erzeugt und ausgesendet wird, z.B. einem Handy oder einer Radiostation. Manche Kinder haben auch die Vorstellung, dass bestimmte Strahlungsarten (d.h. Wellenlängen) natürlich vorkommen, wie (sichtbares) Licht oder Gammastrahlung, während andere Strahlung künstlich erzeugt wird, z.B. Röntgenstrahlen beim medizinischen Röntgen oder die Radiowellen in der Radiostation (vgl. Schecker u. a., 2018).

Gefährlich/Nützliche Strahlung: Auf ähnliche Weise wird Strahlung auch in „gefährlich“ und „nützlich“ eingeteilt. Röntgenstrahlung ist also nützlich, da sie medizinisch verwendet wird, aber „radioaktive“ (d.h. ionisierende) Strahlung ist gefährlich, weil sie Krebs verursachen kann. Manche Kinder denken auch, dass (bestimmte) Strahlung erst ab einer gewissen Dosis gefährlich ist. Man könne demnach eine bestimmte Zeit lang ungeschützt in der Sonne verbringen, aber wenn diese Zeit überschritten wird, dann ist die UV-Strahlung gefährlich und man bekommt einen Sonnenbrand.

Zum Teil werden die Vorstellungen (künstlich/natürlich und gefährlich/nützlich) auch kombiniert, und sämtliche künstliche Strahlung wird als gefährlicher angesehen als natürliche Strahlung (vgl. Schecker u. a., 2018).

Licht kann mehr oder weniger werden: Kinder haben unterschiedliche Ansichten zu einer „Substanzartigkeit“ von Licht. Schülerinnen und Schüler denken zum Teil, dass Licht durch eine Sammellinse oder ähnliche Instrumente, verstärkt wird und „mehr“ wird, entweder weil das Licht, dem Namen nach, aus dem Umgebung „aufgesammelt“ wird, oder aber das Instrument eine Arbeit verrichtet, die das Licht stärker macht.

In ähnlichem Sinne denken Schülerinnen und Schüler, dass Licht mit steigender Distanz oder Zeit an „Ausbreitungskraft“ verliert, während die fachwissenschaftliche Erklärung ist, dass die Intensität, also die Strahlungsleistung pro Fläche, mit der Entfernung zur Lichtquelle abnimmt, da die gleiche Strahlungsleistung der Quelle auf eine größere Fläche aufgeteilt wird. Schülerinnen und Schüler verstehen z.B. die begrenzte Nutzbarkeit eines Autoscheinwerfers als Eigenschaft des Lichtes selbst. Eine stärkere Lichtquelle, wie z.B. ein Stern strahlt daher auch stärkeres oder mehr Licht aus und kann deshalb Dinge in größerer Entfernung erhellen (vgl. Schecker u. a., 2018).

Zum Sehen muss es nur hell sein: Kinder haben die Vorstellung, dass eine Licht-

quelle eine Raum in Licht tauchen muss, damit man ihn, und alles was sich darin befindet, sehen kann. Dabei ist es für die Kinder unwichtig, dass das Licht auch einen Detektor, z.B. das Auge, erreichen muss um wahrgenommen zu werden. Der Lichtweg wird also vernachlässigt, egal ob dieser durch andere Objekte blockiert wird, das Auge nicht auf ein Objekt gerichtet ist, oder das Licht vollständig absorbiert wird.

In diesem Zusammenhang ist es für Schülerinnen und Schüler manchmal auch unverständlich, dass Lichtemission ein kontinuierlicher Vorgang ist, eine Lampe also in der gesamten Zeit, während der sie eingeschaltet ist, Licht aussendet. Stattdessen wird der „Zustand des Hell-seins“ als Ist-Zustand angenommen. Entweder ein Raum ist erhellt und beleuchtet, oder er ist es nicht. Würde die Lampe während der ganzen Zeit Licht abstrahlen, so würde es im Raum immer heller werden (vgl. Blizak und Chafiqi, 2014).

Licht kann eingefärbt werden: Schülerinnen und Schüler sind der Meinung, dass farbiges Licht dadurch entsteht, dass es wie mit einem Farbpulver getränkt wird. Farbiges Licht ist dabei oft nur im Kontext von farbigen Lichtquellen, z.B. LED-Lampen oder Farbfiltern bekannt. Diese werden vor eine weiße Lampe gehalten, um den Raum dann in beispielsweise rotem Licht zu beleuchten. Der Fehler in der Vorstellung ist nun, dass das Licht nicht insgesamt eingefärbt wird, sondern ein Teil des Lichtes vom Filter absorbiert wird und nur noch ein geringer Anteil zur Beleuchtung genutzt werden kann (vgl. Blizak und Chafiqi, 2014; Schecker u. a., 2018)

Die Sternwarte als außerschulischer Lernort

Als Lernort außerhalb des alltäglichen Schulgebäudes bietet die Sternwarte für Schülerinnen und Schüler, aber auch für Lehrkräfte eine motivationsförderliche Gelegenheit, sich direkt und in einem nicht-abstrahierten Kontext mit Astronomie auseinanderzusetzen. Da die Dr.-Karl-Reimeis Sternwarte eine aktive Forschungseinrichtung ist, bietet sie die Möglichkeit, wissenschaftliche Praxis für Kinder erlebbar zu machen. So kann ein Guide von der eigenen Arbeit berichten, aber auch historische Verfahren können in Sternwarte authentisch dargestellt werden. Weiterhin bietet dieser Lernort die Möglichkeit, ein Teleskop im Einsatz zu erleben, was an vielen Schulen nicht möglich ist. Zudem besitzt die Sternwarte mehrere Teleskope unterschiedlicher Bauarten (insbesondere sowohl Reflektoren und Refraktoren), welche vorgeführt werden können.

2.2.3 Rahmenkonzept

Die Führung durch die Sternwarte Bamberg ist in ihrer Organisation und Struktur durch den Aufbau und das Personal der Sternwarte beeinflusst, was sich auf die Methodik und didaktischen Entscheidungen für das Führungskonzept auswirkt. Die Guides sind freiwillige Mitarbeiter der Sternwarte, also in der Regel Studenten und Doktoranten, aber auch Postdocs und die Professoren und Professorinnen oder Lehramtstudierende. Im Allgemeinen kann nicht vorhergesagt werden, welche pädagogisch-didaktischen Fertigkeiten die Guides besitzen, weshalb ein Leitfaden für den Ablauf der Führung bereit gestellt wird.

Dieser Leitfaden ist in verschiedene Abschnitte bzw. Stationen eingeteilt, die je nach Interesse und Altersklasse aber auch situationsbedingt in die Führung integriert werden können. Es sind mehr Stationen vorbereitet als in einer Führung unterzubringen sind, damit die Guides eine gewisse Flexibilität haben und sich an ihren eigenen Fähigkeiten orientieren können.

Die Führung ist dennoch in drei bzw. vier grobe Abschnitte eingeteilt. Zunächst wird die Besuchergruppe vor der Sternwarte begrüßt und anschließend wird das Hauptgebäude gezeigt. Je nach Tageszeit beschränkt sich dies meist auf die Eingangshalle um die anderen Mitarbeiter nicht zu stören. Bei Führungen am Wochenende oder Abend können auch die oberen Stockwerke gezeigt werden. Hier ist besonders der Konferenzraum im obersten Stockwerk von Interesse, da dieser genügend Platz bietet, um die eine der Stationen unterzubringen. Anschließend wird die Führung im Museumsgang fortgeführt, welcher das Hauptgebäude mit dem Meridiangebäude verbindet. Dort liegt der Fokus auf der Historie der Sternwarte und dem Aufbau der dort verwendeten Teleskope. Abschließend wird das Meridiangebäude gezeigt, an welchem die Kuppeln mit den großen Teleskopen angebaut sind. Schwerpunkt in diesem Abschnitt ist die Vorführung der Teleskope. Die Führung soll insgesamt ca. 90 Minuten in Anspruch nehmen.

Falls Uhrzeit und Wetter es zulassen, können Besucher auch eine Himmelsbeobachtung anfragen, was den vierten Abschnitt im Anschluss an die eigentliche Führung darstellt. Falls das Beobachten aufgrund der Wetterlage nicht möglich ist, kann ein Alternativprogramm in der Bibliothek des Meridiangebäudes angeboten werden.

2.2.4 Teleskope und Beobachtung als Schwerpunkt

Astronomie basiert fundamental auf der Beobachtung des Himmels. Viele Phänomene, beispielweise die Mondphasen oder Keplerschen Gesetze sind zwar auch ohne Teleskope erfahrbar, andere Beobachtungen sind hingegen ohne diese Instrumente nicht möglich. So können kleinere, dunklere bzw. weiter entfernte Objekte, wie die galileischen Jupitermonde Ganimed, Io, Kallisto und Europa oder der Planet Neptun, nicht gesehen werden. Zudem ermöglicht erst die Nutzung von Teleskopen die Auflösung von Doppelsternen, Sternhaufen und Nebeln. Auch Phänomene wie die Venusphasen oder Venustransit vor der Sonnenscheibe sind ohne sie nicht beobachtbar. Die Methodik der Himmelsbeobachtung, insbesondere mithilfe von Teleskopen, ist unabdingbar für die Wissenschaft Astronomie. Dieser Umstand sollte bei der Führung durch eine Sternwarte im Zentrum stehen. Die Funktionsweise von Teleskopen, aber auch ihre Anwendungsgebiete, Grenzen und Historie setzen dabei Schwerpunkte für die Führung. Nicht zuletzt bietet die Sternwarte mit ihrer Ausrüstung eine für viele Besucher einzigartige Möglichkeit der Himmelsbeobachtung.

2.3 Methodik und Umsetzung einzelner Stationen

An dieser Stelle sollen einige der Stationen, Experimente und Gesprächsthemen bei der Führung vorgestellt werden. Dabei soll auch auf didaktische Aspekte, insbesondere die jeweilig relevanten Schülervorstellungen aus Unterunterabschnitt 2.2.2, eingegangen werden. Eine Übersicht über die Stationen ist in Tabelle 4 im Anhang zu finden. In der vorgestellten Arbeit sind nicht alle Stationen beschrieben, welche für die Führung vorbereitet wurden. Diese Details sind in der Kollaborativen Arbeit von Billing, 2025 aufgeführt.

2.3.1 Begrüßung vor der Sternwarte

Die Führung an der Sternwarte beginnt vor dem Haupt- bzw. Bürogebäude. Zunächst kann dadurch ein Ausblick auf den Inhalt der Führung gegeben werden, da man von der Straße aus auch den Museumsgang und eine der Kuppeln sehen kann. Dabei kann die Gruppe auch darauf sensibilisiert werden, was das Ziel der Führung ist: Die Sternwarte und die Wissenschaft der Astronomie kennenzulernen

und einen Einblick in die Forschung zu erhalten. Es wäre unmöglich, alle Details darzustellen, weshalb die Besucher sich mit ihren Interessen und Ideen einbringen sollen, um die Führung besonders zu gestalten. Fragen zu den vom Guide angesprochenen Themen, aber auch den Ausstellungstücken, Postern, und besonders eigenen Interessengebieten, sind nicht nur gestattet, sondern erwünscht. Insgesamt soll eine entspannte Atmosphäre entstehen. Die Führung durch die Sternwarte soll ein interessantes Erlebnis voller Entdeckung werden, kein bedrückendes Auswendiglernen von Information.

Weiterhin wird die Gruppe darauf hingewiesen, dass an der Sternwarte aktiv geforscht wird und dementsprechend andere Personen anwesend sind, selbst bei Führungen am Abend und in der Nacht. Besonders bei Kinderführungen sollte deshalb verdeutlicht werden, dass die Gruppe sich auf Zimmerlautstärke beschränken muss und nichts ungefragt angefasst werden darf, da es sich sowohl um empfindliche Ausrüstung aber auch historisch wertvolle Instrumente handeln kann. Diese Regeln sollten den Besuchern begründet und nicht nur als Belehrung vorgesetzt werden, um die Besucher nicht zu verschrecken. Sie sollen sich auch mit den Regeln für ein geeignetes Miteinander willkommen fühlen.

2.3.2 Maßstabsgetreues Planetensystem

Wenn das Tellurium in der Eingangshalle der Sternwarte bei der Führung angesprochen wird, muss auch die falsche Darstellung der Größenverhältnisse angesprochen werden (siehe Billing, 2025). In diesem Zusammenhang wurde ein maßstabsgetreues Modell des Sonnensystems, bestehend aus Styropor- und Metallkugeln im Maßstab 1:3 500 000 000 angeschafft. Die Sonne wird dabei durch eine Styroporkugel mit einem Durchmesser von 40cm dargestellt. Die Erde wird durch eine Metallkugel mit einem Durchmesser von 3.5mm dargestellt; auch die anderen Planeten sowie der Mond sind entsprechend Tabelle 2 vertreten. Dort sind auch die Entfernungen der Kugeln voneinander aufgelistet.

Das Modell wird im Idealfall in ein Ratespiel verwandelt, welches aus Platzgründen im Museumsgang durchgeführt werden sollte. Der Museumsgang besteht aus zwei geraden Streckenabschnitten, wobei der längere Abschnitt, den man vom Hauptgebäude aus betritt, ca 40 m lang ist. Das ist nahezu die perfekte Länge für den Maßstab des Modells, Erde und Sonne sind in diesem ca. 43 m voneinander entfernt. An der Kurve im Gang befindet sich eine Tür, durch die man draußen

Tabelle 2: Maßstabsgetreue Größen und Entfernungen im Sonnensystem im Maßstab 1:3.5 Milliarden (Williams, 2025)

Himmelskörper	Durchmesser [m]	Entfernung zur Sonne [m]	Durchmesser im Maßstab [cm]	Entfernung im Maßstab [m]
Sonne	$1.4 \cdot 10^9$	0	40	0
Merkur	$4.9 \cdot 10^6$	$57.9 \cdot 10^9$	0.15	16
Venus	$12.1 \cdot 10^6$	$108.2 \cdot 10^9$	0.34	30
Erde	$12.7 \cdot 10^6$	$149.6 \cdot 10^9$	0.36	43
Mond	$3.4 \cdot 10^6$	$0.38 \cdot 10^9$ (zur Erde)	0.1	0.1 (zur Erde)
Mars	$6.7 \cdot 10^6$	$228.0 \cdot 10^9$	0.19	61
Jupiter	$143.0 \cdot 10^6$	$778.5 \cdot 10^9$	4.1	222
Saturn	$120.5 \cdot 10^6$	$1432.09 \cdot 10^9$	3.4	409
Uranus	$51.1 \cdot 10^6$	$2867.0 \cdot 10^9$	1.5	819
Neptun	$49.5 \cdot 10^6$	$4515.0 \cdot 10^9$	1.4	1290
α Cen A	$2.2 \cdot 10^9$	$4.1 \cdot 10^{16}$	49	$11.7 \cdot 10^6$

gehen kann um das Modell genauer darzustellen.

Für das Spiel wird den Schülerinnen und Schülern die „Sonne“ präsentiert, und sie sollen entscheiden, welche der kleineren Kugeln die „Erde“ ist. Dabei können natürlich auch Hinweise gegeben werden, wie z.B. das Größenverhältnis zwischen Erde und Sonne (ca. 1:100) oder die echten Durchmesser ($d_S \approx 1\,400\,000$ km; $d_E \approx 12\,700$ km).

Das Spiel kann auch für eine kooperative Phase vorbereitet werden, sodass sich die Kinder eine der Kugeln auswählen, die sie als Repräsentation der Erde vermuten. Damit gerade die kleineren Edelmetallkugeln nicht verloren gehen, sind gut greifbare Neodym-Magnete vorhanden, womit sie gehalten werden. Um das Ratespiel interessanter zu gestalten sind auch größere Styroporkugeln bereit gestellt, die keinen Planeten repräsentieren. Nachdem die Kugeln ausgewählt wurden, sollte nicht nur aufgelöst werden, welche Kugel die Erde repräsentiert, sondern auch welche Himmelskörper von den restlichen Kugeln dargestellt werden. Falls dieser Ansatz gewählt wird, sind auch mehrere Kugeln gleicher Größe vorhanden, damit mehrere Personen die gleiche Entscheidung treffen können. Bei diesem Spiel sollte verdeutlicht werden, Fehler gemacht werden dürfen und es sich nicht um einen Test handelt, falls die Schülerinnen und Schüler unsicher sind.

Um nun auch die Entfernungen im Modell zu zeigen kann der Guide einem der Kinder die „Erde“ geben, und selbst entscheiden lassen, in welcher Entfernung das

Modell korrekt wäre. Falls die Schülerinnen und Schüler die Kugeln aufgeteilt haben, können sie sich alle im Gang platzieren, wo sie ihren Himmelskörper vermuten. Dabei sollte auch ein Signal für diejenigen vereinbart werden, die denken dass ihr Himmelskörper im Gang keinen korrekten Platz findet, beispielsweise indem sie sich auf direkt neben der Sonne versammeln. Der Gartenbereich der Sternwarte, der für das Modell benötigt wird, sollte für diese Phase nur genutzt werden, wenn die Aufsicht der Kinder sichergestellt werden kann. Im Anschluss werden die Entfernungen vom Guide richtig gestellt, und die Schülerinnen und Schüler werden entsprechend des korrekten Maßstabs platziert. Innerhalb des Museumsgangs können nur Merkur und Venus, unter Einbezug des Gartens, auch Erde und Mars dargestellt werden, wie in Abbildung 30 gezeigt. Während die weiteren Planeten im Gang nicht mehr darstellbar sind, können weitere Referenzpunkte genannt werden. So befände sich Jupiter im Modell etwa an der Abzweigung der Sternwartstraße, die den Berg zum Observatorium hinauf führt und Neptun als äußerster Planet des Sonnensystems befände sich beim Kloster Michaelsberg in mehr als 1 km Entfernung.



Abbildung 30: Satellitenaufnahme der Dr. Karl Remeis-Sternwarte in Bamberg (Google LLC, 2025). Zusätzlich wurden die Abstände der inneren Planeten innerhalb des Gangs und auf dem Gelände gemäß des 1:3.5 Mrd.-Maßstabs markiert (eigene Darstellung).

Zum Abschluss der Entfernungsvorstellung können andere Sterne angesprochen werden, wobei den Schülerinnen und Schülern hier nur vermittelt werden soll, dass die Entfernung zwischen Sternen um mehrere Größenordnungen größer ist als die zwischen den Himmelskörpern innerhalb des Sonnensystems. Im gewählten Maßstab würden lediglich die drei nächsten Sterne (bzw. Sternsysteme) auf der Erdoberfläche erreichbar sein, vorausgesetzt es wird die kürzeste Strecke auf der Oberfläche verwendet. Das System α -Centauri bietet sich als Beispiel für eine Führung an, denn als sonnennächstes Sternsystem ist es bekannter als die anderen Zwei (Barnards Pfeilstern und Luhman 16). Die Entfernung von ca. 4.37 ly entspricht im Maßstab ca. 11 700 km. Um diesen Wert vorstellbar zu machen können bekannte Orte auf der Erde mit einer ähnlichen Entfernung zu Bamberg genannt werden, beispielsweise Los Angeles an der Nordamerikanischen Westküste mit einer Entfernung von ca. 9 400 km, Singapur mit einer Entfernung von ca. 10 000 km, die Insel Bali mit einer Distanz von ca. 11 700 km, aber auch die Atakamawüste in Chile, wo sich das Paranal-Observatorium befindet, welches ca. 11 500 km von Bamberg entfernt ist.

Planetenweg

Entlang der Sternwartstraße ist ein sogenannter „Planetenweg“ aus Informationstafeln angebracht, welche die Entfernungen innerhalb des Sonnensystems maßstabsgetreu darstellen. Dieser kann als Alternative zu den Styropor- und Metallkugeln verwendet werden, wobei diese Aktivität direkt nach der Begrüßung vor Betreten der Sternwarte durchgeführt werden sollte. Dieser Planetenweg ist im Maßstab 1:18 000 000 000 aufgebaut, erstreckt sich also über eine Distanz von ca. 250 m zwischen dem Parkplatz des benachbarten Restaurants „Spezial-Keller“ bis zum Eingang des Schulhofs des E.T.A.-Hoffman-Gymnasiums Bamberg. Während in diesem Maßstab der Stern α -Centauri aus praktischen Gründen nicht dargestellt ist, kann er im Rahmen der Führung angesprochen werden. Er befindet sich im Maßstab in einer Entfernung von ca. 2 300 km, was sich in etwa mit den Entfernungen zwischen Bamberg und der Isländischen Hauptstadt Reykyavik (ca. 2 500 km) oder Bamberg und Kairo, der Hauptstadt Ägyptens (ca. 2 700 km) deckt.

Den Planetenweg zu verwenden bietet sich besonders für jüngere Kinder an, da die Erkundung etwas Bewegung beinhaltet, während die Aktivitäten in der Eingangs-

halle der Sternwarte vergleichsweise viel Ruhe voraussetzen, was für die Kinder ungeeignet sein kann. Weiterhin bieten die Infotafeln neben Informationen zu Größe und Entfernung der Planeten auch deren inneren Aufbau, Bilder und interessante Trivialfakten und können Gesprächsthemen inspirieren. Dementsprechend sind neben Schülervorstellungen zu Aufbau und Struktur des Sonnensystems sowie Größenordnungen im Weltall auch weitere relevant. Das Gespräch mit den Besuchern kann auch Präkonzepte wie „die Sonne ist kein Stern“ beinhalten.

Einige der anderen Stationen können auch draußen durchgeführt werden, beispielsweise kann einer der in der Sternwarte ausgestellten Meteoriten genutzt werden und, während der Asteroidengürtel zwischen Mars und Jupiter besprochen wird, herumgegeben werden. Besonders das Experiment zum Thema Mondphasen (siehe Billing, 2025) ist für den Planetenweg draußen gut geeignet. Bei diesem Experiment hält der Betrachter ein Modell des Mondes in der Hand, welches einseitig beleuchtet wird. Dabei dreht sich der Betrachter im Kreis, sodass das Mondmodell einen Orbit um den Betrachter durchführt. Dieses Experiment zeigt, wie die Mondphasen durch den Eigenschatten des Mondes entstehen. Während die Sonne scheint, ist sie die ideale Lichtquelle für diesen Versuch, da sie auch den Mond am Himmel beleuchtet. Wenn dieser gleichzeitig am Himmel zu sehen ist, kann auch der Vergleich zwischen Mond und Modell gezogen werden.

Nachteilig am Planetenweg ist, dass in diesem Maßstab die Größen der Himmelskörper zu klein sind, um alle sinnvoll dargestellt zu werden. Wie in Tabelle 3 nachzulesen, ist selbst die Erde weniger als einen Millimeter groß. Aus praktischen Gründen werden deshalb nicht alle Planeten repräsentiert sondern lediglich zwischen Gesteinsplaneten, wie der Erde, und Gasplaneten, wie Jupiter oder Neptun, unterschieden.

Tabelle 3: Maßstabsgetreue Größen und Entfernungen der Sonne, einiger Planeten des Sonnensystems und α Cen A im Maßstab 1:18 Milliarden für den Planetenweg (Williams, 2025)

Himmelskörper	Durchmesser [m]	Entfernung zur Sonne [m]	Durchmesser im Maßstab [cm]	Entfernung im Maßstab [m]
Sonne	$1.4 \cdot 10^9$	0	7.8	0
Erde	$12.7 \cdot 10^6$	$149.6 \cdot 10^9$	0.07	8.3
Jupiter	$143.0 \cdot 10^6$	$778.5 \cdot 10^9$	0.8	43.3
Neptun	$49.5 \cdot 10^6$	$4515.0 \cdot 10^9$	0.3	250.8
α Cen A	$2.2 \cdot 10^9$	$4.1 \cdot 10^{16}$	12	$2.28 \cdot 10^6$

Für die Sonne ist eine Kugel mit ca. 8 cm Durchmesser vorhanden. Für die Gesteinsplaneten kann die 1 mm-Kugel verwendet werden, die im größeren Maßstab den Mond darstellt. Für die Gasplaneten kann die 3.5 mm-Kugel verwendet werden, welche eigentlich die Erde darstellen soll. Dieser Durchmesser ist etwas größer als der des Neptun und etwa halb so groß wie der des Jupiter im Maßstabs des Planetenwegs.

Ein weiterer Nachteil ist die Schwierigkeit der Aufsicht bei größeren Gruppen im Freien. Da der Planetenweg entlang der Straße verläuft muss besonders darauf geachtet werden, dass keine Gefahrensituation mit Fahrzeugen entstehen, wobei die Sternwartstraße nicht stark befahren wird. Kinderführungen sind zudem auch von zusätzlichen Aufsichtspersonen (wie Lehrkräfte von Schulen) begleitet, die den Guide dabei unterstützen.

2.3.3 Meteoritenschaukasten

Im Erdgeschoss der Sternwarte befindet sich ein Schaukasten, in dem neben einigen Modellen und Auszeichnungen der Sternwarte auch Teile eines Meteoriten ausgestellt sind. Dieser ist ein idealer Gesprächsfokus während einer Führung, um neben grundsätzlichen Informationen über kleinere Himmelskörper wie Asteroiden und Kometen auch über aktuelle Raummissionen mit diesem Fokus zu sprechen. Beispiele hierfür sind die Psyche-Mission, bei der eine Raumsonde auf verschiedenen Asteroiden landen soll um sie zu erforschen (vgl. Dibb u. a., 2024), oder das NEO-Surveyor-Teleskop, das speziell entwickelt wurde, um Asteroiden mit erdnahem Orbit zu entdecken (vgl. Mainzer u. a., 2023). Währenddessen kann der Meteorit unter den Besuchern herumgegeben werden

Da sich der Meteoritenschaukasten in der Eingangshalle befindet, eignet er sich unter anderem als Abschluss der gesamten Führung.

2.3.4 Astronomische Präzisionsuhr

Von besonderem historischen Interesse ist die im Foyer ausgestellte „Astronomische Präzisionspendeluhr Max Ort Nr. VI“, (zu sehen in Abbildung 31) welche von 1889 bis in die 1940er Jahre aktiv zur Zeitbestimmung verwendet wurde. Sie wurde, so wie die anderen vier Uhren (Max Ort V - VIII) vom deutschen Uhrmacher Max



Abbildung 31: Astronomische Präzisionspendeluhr „Ort IV“ im Foyer der Dr. Karl Remeis Sternwarte (eigene Darstellung).

Matthias Ort gefertigt und von 2013 bis 2014 von B. Liebscher und D. Schiller (vgl. Liebscher, 2015) restauriert und ist seither funktionierendes Ausstellungsstück im Foyer des Hauptgebäudes.

Ursprünglich war die Ort VI eine Bodenstanduhr unter einer Glaskuppel in stark verdünnter Luft, was ihr besondere Genauigkeit verlieh. Seit der Restaurierung befindet sie sich nicht mehr im Teilvakuum, da bei der Arbeit Spannungsrisse in der Kuppel entdeckt wurden und die Vakuumierung dadurch nicht möglich war. Zusätzlich wurde sie in einer zweiten Vitrine platziert, um sie zu schützen. Die Uhr ist laut den Restauratoren bis auf $+0.75$ s pro Tag genau, was einem Bruchteil der von der Chronometerprüfung (ISO, 2009) gestatteten Toleranz von $-4+6$ s pro Tag entspricht. Diese Chronometerprüfung ist jedoch für Armbanduhren gedacht, sodass hier erwähnt werden muss, dass Standuhren in der Regel weniger Abweichung haben (vgl. Gockel und Schuler, 1938). Dennoch ist die Präzisionsuhr immer noch in hervorragendem Zustand und sehr präzise.

Die Ort VI stellt ein zentrales Objekt in der Eingangshalle dar und kann Fragen wie „Ist diese Uhr etwas Besonderes?“ oder „Warum ist die Uhr unter zwei Glaskuppeln?“, aufwerfen. Während die Uhr und ihre Funktionsweise keine zentrale Rolle während der Führung spielen sollte, ist sie doch ein wichtiger Bestandteil der Historie der Sternwarte und kann das Gespräch für neue Themengebiete, insbesondere die

Praxis der Astronomie, öffnen. Dabei war die Uhr (zusammen mit den anderen Präzisionsuhren) essentiell, um die Umrechnungen zwischen den Koordinatensystemen (siehe Unterabschnitt 1.2.1) verwenden zu können.

2.3.5 Historische Instrumente im Museumsgang

Der Museumsgang, der das Hauptgebäude der Sternwarte mit dem Meridiangebäude verbindet, ist mit vielen historisch wertvollen Instrumenten gefüllt. Neben den Teleskopen (siehe Unterabschnitt 2.3.6) sind dort auch Messinstrumente wie Sextanten und Oktanten aber auch Universaltheodoliten ausgestellt. Daneben gibt es auch Steinplatten, auf welche die astronomischen Aufnahmen von Photoplatten übertragen wurden, um sie vor Degradierung zu schützen sowie einen sogenannten „Blinkkomparator“ (dargestellt in Abbildung 32). Weiterhin sind an den Wänden des Gangs sowohl informative Plakate als auch astronomische Fotografien, die an der Sternwarte gemacht wurden, angebracht.

All diese Ausstellungsstücke lassen sich in die Führung integrieren, wobei die Diversität derselben eine große Flexibilität der angesprochenen Themen ermöglicht. So kann mit den Sextanten auf die astronomischen Messungen der Antike eingegangen werden, da diese die Nachfolger des antiken Quadranten sind (siehe Abschnitt 1.2). Die Fotografien im Museumsgang können Gesprächsbeginn für verschiedenste astronomische Objekte, wie Nebel, Sternhaufen und Planeten, sein. Dementsprechend sind auch verschiedenste Präkonzepte relevant, wie solche zum Thema Gravitation (z.B. „Schwerkraft wirkt im Weltall nicht“) oder Himmelskörpern (z.B. „Sterne sind brennende Gase“). Da im Museumsgang verschiedene Messgeräte angesprochen werden, sind auch diejenigen Schülervorstellungen mit Zusammenhang zum Licht relevant sind (z.B. „zum Sehen muss es nur hell sein“, „Infrarotstrahlung ist rot, Ultraviolettstrahlung ist blau“ oder „die Infrarotkamera sendet ein Signal aus“).

Von besonderem Interesse im Museumsgang ist der Blinkkomparator, welcher noch voll funktionsfähig ist und daher auch vorgeführt werden kann. Dabei handelt es sich um ein Gerät, mit dem astronomische Aufnahmen auf feinste Unterschiede untersucht werden. Zwei durchsichtige Platten, die den gleichen Himmelsausschnitt zu unterschiedlichen Zeitpunkten (z.B. im Abstand eines Jahres) zeigen, werden auf dem Gerät platziert. Durch das Okular des Komparators kann nun der Himmelsausschnitt betrachtet werden und ein drehbarer Spiegel sorgt dafür, dass, ohne



Abbildung 32: Blinkkomparator im Museumsgang der Dr. Karl Remeis-Sternwarte Bamberg. Die Platten mit der Fotografie des Himmels werden von unten beleuchtet (eigene Darstellung).

Bewegung der Augen, die betrachtete Platte gewechselt wird. Dadurch sind kleine Unterschiede, beispielsweise ein sich bewegendes Stern, einfacher erkennbar. Der Blinkkomparator stellt damit einerseits wieder ein Schülerexperiment dar, das die Kinder und Jugendlichen aktiviert, aber auch einen Anhaltspunkt um das Thema „Natur der Wissenschaft“ anzusprechen (vgl. Schecker u. a., 2018).

2.3.6 Teleskopmodelle

Im Museumsgang sind mehrere historische Teleskope der Sternwarte ausgestellt, unter anderem ein Steinheil-Heliograph mit 10 cm Objektivöffnung sowie zwei Teleskope aus Karl Remeis' Besitz: ein kleineres Tischfernrohr mit 42 mm Objektivöffnung und ein großer Refraktor mit einem 26.4 cm Objektiv. Diese Objekte bieten einen großartigen Einstieg in Themen wie die Historie der Sternwarte und ihren Gründer vater Karl Remeis und die Himmelsbeobachtung mit Teleskopen. Weiterhin bietet der Heliograph und dessen Verwendungsart mithilfe von Projektion einen guten Grund die Besucher auf die Vorsichtsmaßnahmen und Gefahren bei Sonnenbeobachtung aufmerksam zu machen. Dabei wurde der Heliograph horizontal auf einem Stativ gelagert, um ihn stabil zu halten. Das Licht der Sonne wurde anschließend

mit einer Spiegelkonstruktion, einem sogenannten Heliostat, in die Öffnung des Teleskops reflektiert. Das Bild des Teleskops wurde zuletzt auf einem Schirm bzw. eine Kamera projiziert (vgl. Bick, 2015).

Um Besuchern die Teleskope und ihre Unterschiede bei der Anwendung näher zu bringen wurden mehrere Modelle gebaut, die auf einem Kepler-Teleskop-Baukasten des AstroMedia Verlags basieren. Statt der Objektivlinse des funktionierenden Teleskops wurden Bilder von Mond und Jupiter auf Folien gedruckt, sodass beim hindurchsehen der Eindruck entsteht, den Himmel durch das entsprechende Teleskop zu betrachten. Die Modelle stellen insbesondere drei Teleskope der Sternwarte dar: das Tischteleskop, den großen Refraktor zusammen mit dem speziellen Kellner-Okular, welches eine 50-fache Vergrößerung ermöglicht, und ein modernes Teleskop, für welches das CHT zusammen mit einem Okular mit mittlerer Brennweite von 15 mm als Vorbild genommen wurde.

Diese Werte sind so gewählt, da das Tischteleskop und der große Refraktor bei unterschiedlichem Objektiv zwar die gleiche Vergrößerung haben, dadurch jedoch die Relevanz desselben verdeutlicht wird. Das Bild des großen Refraktors ist deutlich heller als das des Tischfernrohrs. Das moderne Spiegelteleskop hat eine wesentlich höhere, etwa 200-fache Vergrößerung. An dieser Stelle der Führung muss betont werden, dass auch der große Refraktor ähnliche und höhere Vergrößerungen erreichen konnte, da entsprechende Okulare zur Verfügung standen. Allerdings ist es mit der Ausrüstung der Sternwarte nicht möglich, die Vergrößerung der Teleskope in den Kuppeln auf das 50-fache zu verringern, die großen Objektivdurchmesser und Brennweiten eine größere Austrittspupille im Objektiv erzeugen würden, als die Pupille des Auges, sodass das Bild nicht scharf gesehen werden kann. Zusätzlich zu den Teleskopattrappen sind auch funktionstüchtige Versionen des Kepler-Teleskops verfügbar, welche eine etwa 10-fache Vergrößerung erreichen. Sie sind deshalb zwar nicht als astronomische Instrumente verwendbar, bieten Schülerinnen und Schülern jedoch die Möglichkeit, ein Fernrohr selbst auszuprobieren. Die Modelle bestehen aus zwei beweglichen Tuben aus Pappkarton, sodass auch das Fokussieren durch Verstellen der Tubuslänge ausprobiert werden kann. Dadurch wird ein praktisches Beispiel für die Arbeit mit dem Teleskop gegeben.

2.3.7 Funktionsweise von Teleskopen

Zusätzlich zu den Teleskopen sind im Gang auch Infotafeln zur Funktionsweise von Teleskopen ausgestellt. Diese sollten in die Führung eingearbeitet werden, wobei hierzu Materialien für eine Vorführung eines einfachen Teleskops bereit gestellt werden. Dazu werden eine einfache Lupe, ein Kosmetikspiegel mit einem Planspiegel und einem Hohlspiegel sowie ein Metalllöffel verwendet. Dadurch kann mithilfe der Lampen im Gang auf eindrucksvolle Weise die Vergrößerung durch die optischen Instrumente dargestellt werden. Zunächst kann mithilfe der Lupe und des Spiegels gezeigt werden, dass beide Instrumente den gleichen grundlegenden Effekt erzielen. Der Löffel kann verwendet werden, um den Kindern zu zeigen, dass physikalische Phänomene allgemein auftreten, jede gekrümmte, spiegelnde Oberfläche sorgt für die gewollte Veränderung des Lichts. Da der Löffel nicht als optisches Instrument konzipiert ist, lassen sich damit nur die groben Strukturen der Lampe darstellen, während man mit dem Hohlspiegel tatsächlich die Lampe erkennen kann. Als Abschluss dieses Experiments können auch Lupe und Löffel kombiniert werden, um zu zeigen, dass sich die Effekte gegenseitig beeinflussen. Der Löffel ist hierfür notwendig, da die Krümmung des Kosmetikspiegels nicht ausreicht, um den Effekt sinnvoll darzustellen, jedoch ist der Löffel hierfür geeignet. Zum Experiment muss den Besuchern gesagt werden, dass die Vorführung nur zeigen soll, dass Spiegel und Linsen das Licht beeinflussen, sodass Objekte nicht nur vergrößert sondern auch projiziert werden können. Das Teleskop ist, im Gegensatz zum Experiment, so konzipiert, dass man ein scharfes Bild im Okular sieht, wenn man mit dem Auge hindurchsieht, nicht wenn man es an die Wand projiziert, weshalb die optischen Bauteile dafür ausgelegt sind.

2.3.8 Teleskop in der Kuppel

Das Teleskop in der Kuppel der Sternwarte stellt den Höhepunkt der Führung dar, da es ein Gerät ist, das die wenigsten Besucher bisher gesehen haben, insbesondere da es sich um einen Reflektor mit äquatorialer Halterung handelt. Es ist zu empfehlen die Westkuppel mit dem 40 cm Cuno-Hoffmeiser-Teleskop für die Führung zu besuchen, da bei guten Beobachtungsbedingungen auch die anderen Mitarbeiter der Sternwarte die Teleskope nutzen, und das größere 50 cm Ernst-Hartwig-Teleskop zumeist bevorzugt wird.

Wenn die Kuppel betreten wird, ist es unabdingbar eine kurze Sicherheitseinweisung zu halten, nicht nur weil sich teure Gerätschaften in der Kuppel befinden, sondern vor allem weil sich schwere Objekte motorisiert bewegen und so eine Verletzungsgefahr besteht. Die wichtigsten Punkte sind hier die bewegliche Kuppel mit ihrem mechanischen Zahnkranz und dem Öffnungsmechanismus für den Kuppelspalt, der sich mit der Kuppel mitbewegt. Weiterhin muss die Schwenkung des Teleskops und der Gegengewichte angesprochen werden, sodass sich niemand zu nah am Teleskop befindet wenn dieses ausgerichtet oder geparkt wird.

Sollte es keinen Niederschlag geben, kann in der Kuppel zunächst der Spalt geöffnet werden. Diese Aufgabe dürfen auch die Besucher übernehmen, wodurch sie erneut aktiv in die Führung eingebracht werden. Da der Mechanismus eher schwerfällig ist, kann es vorkommen, dass Kinder dabei unterstützt werden müssen. Dies bietet die Gelegenheit noch einmal zu verdeutlichen, dass die Sternwarte ein historisches Gebäude ist. Im Anschluss kann das Teleskop in Betrieb genommen werden, während die Verschiedenen Elemente, wie die parallaktische Halterung und die damit zusammenhängende Bewegung der Himmelskugel, die drehbare Kuppel, oder die Verschiedenen optischen Elemente altersgerecht erklärt werden.

Beobachtungsziele

Während einer Führung wird in Echtzeit beobachtet, weshalb es schwierig oder gar unmöglich ist, Nebel und Galaxien zu beobachten. Aus diesem Grund sollte sich die Beobachtung auf andere, auch unter mäßigen Bedingungen sichtbare Objekte, z.B. Planeten wie Venus, Jupiter und Saturn fokussieren.

Venus ist dadurch besonders interessant, dass der Planet nicht vollständig, sondern so wie der Mond in Phasen sichtbar ist. An dieser Stelle kann es sinnvoll sein, einen Graufilter zu verwenden, da ein großes Teleskop den Planeten sehr hell erscheinen lässt. Bereits bei einer 100-fachen Vergrößerung kann man Jupiters Atmosphärenstreifen gut erkennen. Die Gallileischen Monde sind ebenfalls sehr gut sichtbar, was den Planeten zu einem guten Beobachtungsziel macht. Auch Saturns Ringe sind sehr gut zu erkennen. Uranus ist mit dem Teleskop ebenfalls sichtbar und allein dadurch besonders, dass man ihn nur unter idealen Bedingungen mit bloßem Auge sehen kann. Merkur ist nur in einem sehr kurzen Zeitfenster nach Sonnenuntergang zu beobachten, was nur schwierig zu planen und besonders mit großen Gruppen nicht realisierbar ist. Mars ist ein Beobachtungsziel das man gut sehen kann, aber

aufgrund seiner geringen Ausdehnung und damit einhergehenden Detailarmut im Okular oft weniger beeindruckend ist als die anderen Planeten.

Ein weiteres Beobachtungsziel ist der Mond, allerdings sollte hierfür ein Graufilter verwendet werden, da er durch das Teleskop sehr hell erscheint.

Auch Sterne sind gut zu beobachten, wobei diese im Teleskop eher unscheinbar sind, da sie weiterhin Punktquellen sind und deshalb keine nennenswerten Veränderungen zeigen. Interessant sind deshalb besonders Doppelsternsysteme, die sich mit dem Teleskop auflösen lassen. Beispielweise sind hier Mizar und Alcor (ζ Ursae Majoris) ein gutes Ziel. Während Mizar und Alcor bereits mit (normalsichtigem) bloßem Auge trennbar sind, kann man mit dem Teleskop auch Mizar A und B auflösen. Ein weiterer interessanter Doppelstern ist Albireo (β Cygni), dessen Komponenten unterschiedliche Farben aufweisen.

Als weiteres Beobachtungsziel sind Kugelsternhaufen wie z.B. M13 interessant, da diese im Gesichtsfeld gut erkennbar sind. Offene Sternhaufen sind dagegen schwieriger zu erkennen. Besonders bei großer Vergrößerung sind nur wenige bis einzelne Sterne gleichzeitig sichtbar.

Auch tagsüber kann das Teleskop demonstriert werden, indem ein besonders heller Stern (z.B. mit 0 mag oder heller) angesteuert wird, da man diese auch bei Sonnenschein sehen kann. Dabei muss unbedingt vorher überprüft werden, dass der Stern nicht in Sonnennähe steht, um Verletzungen zu vermeiden.

3 Fazit und Schlussbetrachtung

Ziel der vorliegenden Arbeit war, das bestehende Konzept für Führungen an der Dr. Karl Remeis-Sternwarte Bamberg zu überarbeiten und mit fachwissenschaftlicher sowie didaktischer Grundlage neu zu gestalten. Dabei wurde ein besonderer Fokus auf Kinder und Jugendliche als Zielgruppe gelegt. Im Vordergrund der Überlegungen zu dieser Konzeption standen die Präkonzepte und Vorstellungen, die bei Kindern und Jugendlichen häufig vertreten sind.

Der fachliche Fokus liegt in der vorliegenden Arbeit auf der Beobachtung des Himmels, da diese eine zentrale Rolle in der astronomischen Wissenschaft darstellt. Daher wurden zunächst die fachwissenschaftlichen Theorien und Konzepte betrachtet, die die Grundlage für dieses Themengebiet bilden und entsprechend auch in der Führung zum tragen kommen. Dabei standen unter anderem die Funktionsweise des Teleskops sowie die astronomische Fotografie im Fokus. Dazu wurden auch die historischen Entwicklungen der Astronomie betrachtet.

Die Konzeption der Führung und der dafür erstellten Stationen orientierte sich am Modell der „didaktischen Rekonstruktion“ nach Kattmann, 2015 wodurch die Fachphysik mit den Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler in Einklang gebracht wurden. Dabei wurde sich an der didaktischen Forschung zu Schülervorstellungen (z.B. Schecker u. a., 2018) orientiert. Durch speziell dafür ausgerichtete Experimente und Vorführungen (z.B. Planetenweg, Teleskopmodelle) erleichtern dabei handlungsbezogene Ansätze das konzeptuelle Lernen der Kinder und Jugendlichen. Mit dieser Herangehensweise wird neben dem Lernen auch die Motivation zum physikalischen und insbesondere astronomischen Erforschen von Phänomenen gesteigert.

3.1 Potenzial für den schulischen Unterricht

Die Astronomie als Fachgebiet ist im schulischen Lehrplan stark unterrepräsentiert (vgl. ISB, 2025b). Dennoch bieten sich mehrere Stationen an, gegebenenfalls mit einer gewissen Anpassung, in den Unterricht übernommen zu werden. In der achten Klasse wird das Thema der Optik behandelt, welches durch die Stationen „Teleskopmodelle“ (Unterabschnitt 2.3.6) und „Teleskopfunktion“ (Unterabschnitt 2.3.7) bereichert werden können. Zum Thema „Objekte des Sonnensystems“ kann das „Maßstabsgetreue Planetensystem“ (Unterabschnitt 2.3.2) auch fachübergreifend im Unterrichtsfach Geographie (vgl. ISB, 2025c) eingebracht werden, um die Größenordnungen zu lehren.

Außerhalb des Standardunterrichts besteht die Möglichkeit für Projektarbeiten, beispielsweise die Herleitung der Kepler'schen Gesetze aus der Beobachtung der Jupitermonde (siehe Reichardt, 2024). Solche Projekte sind zwar aufwendig und erfordern unter Umständen die Kollaboration zwischen einer Schule und einer Sternwarte, bieten aber einen enormen Mehrwert für die Lernenden. Durch die direkte Teilhabe an der wissenschaftlichen Methode, insbesondere in einem außerschulischen Kontext, kann die Lernmotivation gesteigert werden und fachübergreifende Grundlagen können ohne Abstraktion in ein solches Projekt mit eingefügt werden.

3.2 Desiderate und Ausblick

Die Führung, die in der vorliegenden Arbeit vorgestellt wurde, konnte im gegebenen zeitlichen Rahmen nicht auf ihre konzeptuelle Effektstärke untersucht werden. Daher ist es ungeklärt, ob die entwickelten Experimente einen messbaren Konzeptwechsel anregen und Lerneffekt mit sich führen. Die persönliche Interaktion mit Besuchern der Führung ist daher die einzige Rückmeldung, die diesbezüglich gemacht werden konnte. Diese waren zum Großteil positiv und zeugen von Interesse und Lerneffekten, sind jedoch nicht repräsentativ.

Daher wäre ein weiterführendes Projekt denkbar, bei welchem die Wirksamkeit der vorgestellten Experimente empirisch, beispielsweise unter Zuhilfenahme oder selbstständigen Entwicklung eines Konzeptinventars, untersucht wird. Als Grundlage könnten hier beispielsweise der „Light and Spectroscopy Concept Inventory“

(LSCI) (Bardar u. a., 2007) oder der „Test Of Astronomy STandards“(TOAST) (Slater, 2014) in betracht gezogen werden.

3.3 Einbettung in das Gesamtkonzept der Führung

Zum Abschluss muss erwähnt werden, dass die hier vorliegende Arbeit lediglich einen Teil des Führungskonzepts darstellt. Der zweite Themenschwerpunkt, welcher in die Grundkonzeption einfluss, ist das Phänomen der Gravitation. Dieses Thema, sowie die damit zusammenhängenden Themengebiete (z.B. Kepler'sche Gesetze, Gravitationsgesetz, Schwarze Löcher und Zeitdilatation) und Führungsstationen (zur Gesamtübersicht siehe Tabelle 4) werden in der Arbeit „Physik des Himmels begreifen Konzeption einer astronomischen Führung zur Transformation von Präkonzepten des Themenbereichs ‚Gravitation‘ an der Dr. Karl Remeis-Sternwarte Bamberg“ von Leonard Billing (Billing, 2025) erörtert.

Damit wird die Führung an der Dr. Karl Remeis-Sternwarte zu einem vielseitigen, fachlich und didaktisch strukturieren und lebensnahen Lernerlebnis für die Gäste des Observatoriums.

Literaturverzeichnis

- Aaboe, A. (1974). „Scientific astronomy in antiquity“. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*.
- Agan, L. (2004). „Stellar Ideas: Exploring Students' Understanding of Stars“. In: *Astronomy Education Review* 3.1.
- Amada44 (2008). *Bayer Matrix*. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bayer_matrix.svg (besucht am 08.07.2025).
- Bäcker, J. (2006). *Abbildung eines Rechteckes durch eine optische Linse oder ein Linsensystem mit tonnenförmiger (rot) oder kissenförmiger (blau) geometrische Verzeichnung*. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Geometrical_Aberration_de.svg (besucht am 01.07.2025).
- Bardar, E. M., E. E. Prater, K. Brecher und T. F. Slater (2007). „Development and Validation of the Light and Spectroscopy Concept Inventory“. In: *Astronomy Education Review* 5.
- Biagioli, M. (2019). „How did Galileo develop his telescope? A 'new' letter by Paolo Sarpi“. In: *Origins of the Telescope*. Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences.
- Bick, K. (2015). *Astronomy in the late 19th Century*. Bachelorarbeit.
- Billing, L. (2025). *Die Physik des Himmels begreifen: Konzeption einer astronomischen Führung zur Transformation von Präkonzepten des Themenbereichs „Gravitation“ an der Dr. Karl Remeis-Sternwarte Bamberg*. Zulassungsarbeit.
- Blizak, D. und F. Chafiqi (2014). „Determination of University Students' Misconceptions about Light Using Concept Maps“. In: *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. ERPA International Congress on Education, ERPA Congress 2014, 6-8 June 2014, Istanbul, Turkey 152.

- Bortle, J. E. (2001). „The Bortle Dark-Sky Scale“. In: *Sky and Telescope* 101.
- Brang, M., H. Franke, F. Greinert, M. S. Ubben, F. Hennig und P. Bitzenbauer (2024). „Spooky action at a distance? A two-phase study into learners’ views of quantum entanglement“. In: *EPJ Quantum Technology* 11.1.
- Burke, R.B., Bacon, R. (1928). *The Opus Majus of Roger Bacon*. University of Pennsylvania Press.
- Carroll, B. W. und D. A. Ostlie (2017). *An Introduction to Modern Astrophysics*: 2. Aufl. Cambridge University Press.
- Chandler, C. O., C. A. Trujillo, W. J. Oldroyd, J. K. Kueny, W. A. Burris, H. H. Hsieh, J. A. DeSpain, N. Sedaghat, S. S. Sheppard, K. A. Farrell, D. E. Trilling, A. Gustafsson, M. J. M. Magbanua, M. T. Mazzucato, M. K. D. Bosch, T. Shaw-Diaz, V. Gonano, A. Lamperti, J. A. da Silva Campos, B. L. Goodwin, I. A. Terentev, C. J. A. Dukes und S. Deen (2024). „The Active Asteroids Citizen Science Program: Overview and First Results“. In: *The Astronomical Journal* 167.4.
- Christy, C. T., T. Jayasinghe, K. Z. Stanek, C. S. Kochanek, Z. Way, J. L. Prieto, B. J. Shappee, T. W.-S. Holoiien, T. A. Thompson und A. Schneider (2022). „Citizen ASAS-SN Data Release. I. Variable Star Classification Using Citizen Science“. In: *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 134.1032.
- Clausnitzer, L. (2021). „Ist die Astronomie ein Spezialgebiet? Über den Umgang der Bundesländer mit der Astronomie“. In: *Sterne und Weltraum* 10.
- Condon, J. J. und S. M. Ransom (2016). *Essential Radio Astronomy*. Princeton University Press.
- Danaia, L. und D. Mckinnon (2007). „Common Alternative Astronomical Conceptions Encountered in Junior Secondary Science Classes: Why Is This So?“ In: 6.
- Davis, L. S., L. Zhu und W. Finkler (2023). „Citizen Science: Is It Good Science?“ In: *Sustainability* 15.5.
- Demtröder, W. (2016). *Experimentalphysik 3: Atome, Moleküle und Festkörper*. Springer Spektrum.

- Descartes, R. (1637). *La dioptrique*. Ian Maire.
- Dibb, S. D., E. Asphaug, J. F. Bell, R. P. Binzel, W. F. Bottke, S. Cambioni, J. M. Christoph, L. T. Elkins-Tanton, R. Jaumann, D. J. Lawrence, R. Oran, J. G. O'Rourke, C. Polansky, B. P. Weiss, M. Wieczorek und D. A. Williams (2024). „A Post-Launch Summary of the Science of NASA's Psyche Mission“. In: *AGU Advances* 5.2.
- Dietzel, S. (2012). *Deutsch: Objektmikrometer bei geringer Vergrößerung (4x Objektiv). Am Rand des Bildes die Bildfeldwölbung an der Unschärfe der Skalierung zu erkennen*. URL: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Objektmikrometer4x.jpg> (besucht am 01.07.2025).
- ESA (2016). *The Bubble Nebula*. URL: <https://www.esahubble.org/images/heic1608a/> (besucht am 09.07.2025).
- Fraunhofer, J. (1815). „Bestimmung des Brechungs- und des Farbzerstreuungsvermögens verschiedener Glasarten, in Bezug auf die Vervollkommnung achromatischer Fernröhre“. In: *Denkschriften der Münchner Akad. der Wiss.* 1814-1815.
- Gingerich, O. (1982). „Henry Draper's Scientific Legacy“. In: *Annals of the New York Academy of Sciences*.
- Gockel, H. und M. Schuler (1938). „Über eine neue Schuler-Uhr mit Selbstantrieb und die Gangleistungen zweier Schuler-Pendel von Mai bis September 1937“. In: *Zeitschrift für Physik* 109.7.
- Google LLC (2025). *Google Maps: Dr.-Karl-Remeis-Sternwarte, Bamberg*. URL: <https://www.google.com/maps> (besucht am 25.06.2025).
- Goruma (2024). *Sonne und Planeten*. Goruma. URL: <https://www.goruma.de/erde-und-natur/astronomie/sonne-und-planeten> (besucht am 21.05.2025).
- GreenTea95 (2012). *English: The Tower Bridge with the Olympic Rings unveiled*. URL: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tower-bridge-and-olympic-rings.jpg> (besucht am 01.07.2025).
- Hanslmeier, A. (2020). *Einführung in Astronomie und Astrophysik*. Berlin, Heidelberg: Springer.

- Harris, H. E. und P. Russo (2015). „The influence of social movements on space astronomy policy: The cases of “Hubble Huggers”, JWST’s “Science Warriors” and the ISEE-3 “Reboot Team”“. In: *Space Policy* 31.
- Hoof, P. A. M. van, G. C. Van de Steene, D. A. Beintema, P. G. Martin, S. R. Pottasch und G. J. Ferland (2000). „Properties of Dust Grains in Planetary Nebulae. I. The Ionized Region of NGC 6445“. In: *The Astrophysical Journal* 532.1.
- Instruments, M. (2025). *C4 Series CMOS Cameras*. URL: <https://www.gxccd.com/art?id=607&lang=409> (besucht am 11.07.2025).
- ISB (2025c). *LehrplanPLUS Gymnasium: Fachlehrplan Geographie Jahrgangsstufe 5*. URL: <https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/gymnasium/5/geographie> (besucht am 04.07.2025).
- ISB (2025b). *LehrplanPLUS Gymnasium: Fachlehrplan Physik Jahrgangsstufe 11*. URL: <https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/gymnasium/11/physik> (besucht am 21.05.2025).
- ISB (2025a). *LehrplanPLUS Gymnasium: Fachlehrplan Physik Jahrgangsstufe 13*. URL: <https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/gymnasium/13/physik/grundlegend-astro> (besucht am 23.06.2025).
- ISO (2009). *ISO 3159:2009: Timekeeping instruments — Wrist-chronometers with spring balance oscillator*. URL: <https://www.iso.org/standard/54804.html> (besucht am 10.07.2025).
- Johnson, H. L. und W. W. Morgan (1953). „Fundamental stellar photometry for standards of spectral type on the Revised System of the Yerkes Spectral Atlas.“ In: *The Astrophysical Journal* 117.
- Kattmann, U. (2015). *Schüler besser verstehen. Alltagsvorstellungen im Biologieunterricht*. Hallbergmoos: Aulis Verlag in der Stark Verlagsgesellschaft.
- Kepler, J. und S. Larsen (2025). *Dioptrice*. Erstveröffentlichung: 1611. Radboud University Press.
- King, H. C. (1956). *The History of the Telescope*. Dover Publications Inc.
- Kitchin, C. R. (2013). *Telescopes and Techniques*. Springer Science+Business Media.

- LEIFIPhysik (2025). *NEWTON- oder Spiegelteleskop*. URL: <https://www.leifiphysik.de/optik/optische-linsen/ausblick/newton-oder-spiegelteleskop> (besucht am 28.06.2025).
- Liebscher B., S. D. (2015). *Die Restaurierung der astronomischen Präzisions-Pendeluhr Max OrtNr. VI*. erschienen in: *Astronomie in Franken - Von den Anfängen bis zur modernen Astrophysik*. Gudrun Wolfenschmidt.
- Loch, M. A. und M. S. Ubben (2023). „Wie sieht eigentlich das Sonnensystem aus? Empirische Erhebung mentaler Modelle Lernender zu Objekten im Sonnensystem“. In: *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.
- Lutz, A. (2017). *Okulare*. URL: <https://www.omegon.eu/Produktdownloads/Eyepieces%20omegon.pdf> (besucht am 06.07.2025).
- Mainzer, A. K., J. R. Masiero, P. A. Abell, J. M. Bauer, W. Bottke, B. J. Buratti, S. J. Carey, D. Cotto-Figueroa, R. M. Cutri, D. Dahlen, P. R. M. Eisenhardt, Y. R. Fernandez, R. Furfaro, T. Grav, T. L. Hoffman, M. S. Kelley, Y. Kim, J. D. Kirkpatrick, C. R. Lawler, E. Lilly, X. Liu, F. Marocco, K. A. Marsh, F. J. Masci, C. W. McMurtry, M. Pourrahmani, L. Reinhart, M. E. Ressler, A. Satpathy, C. A. Schambeau, S. Sonnett, T. B. Spahr, J. A. Surace, M. Vaquero, E. L. Wright, G. R. Zengilowski und N. S. M. Team (2023). „The Near-Earth Object Surveyor Mission“. In: *The Planetary Science Journal* 4.12.
- Mdf (2008). *Spherical aberration*. URL: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Spherical_aberration&oldid=1293278829 (besucht am 01.07.2025).
- Meier, J., U. Hasenöhr, K. Krause und M. Pottharst (2015). *Urban Lighting, Light Pollution and Society*. Routledge.
- Mellish, B. (2005). *English: Reflectance vs. wavelength curves for aluminium (Al), silver (Ag), and gold (Au) metal mirrors at normal incidence. For optical coating. By Bob Mellish*. URL: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Image-Metal-reflectance.png> (besucht am 30.06.2025).
- Miller, B. und W. Brewer (2010). „Misconceptions of Astronomical Distances“. In: *International Journal of Science Education - INT J SCI EDUC* 32.
- NASA (2016). *JWST User Documentation*. Techn. Ber. NASA.

- NASA (2025). *NED results for object MESSIER 31*. URL: https://ned.ipac.caltech.edu/cgi-bin/objsearch?objname=M+031&extend=no&hconst=73&omegam=0.27&omegav=0.73&corr_z=1&out_csys=Equatorial&out_equinox=J2000.0&obj_sort=RA+or+Longitude&of=pre_text&zv_breaker=30000.0&list_limit=5&img_stamp=YES (besucht am 07.07.2025).
- Neumann, M. (2012). *Strahlengang im Galilei-Fernrohr*. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fernrohr_galilei.svg#/media/File:Fernrohr_galilei.svg (besucht am 28.06.2025).
- O’Conner Peluso, D., T. M. Esposito, F. Marchis, P. A. Dalba, L. Sgro, C. Megowan-Romanowicz, C. Pennypacker, B. Carter, D. Wright, A. M. Avsar, A. Perrocheau und U. C. Scientists (163) (2023). „The Unistellar Exoplanet Campaign: Citizen Science Results and Inherent Education Opportunities“. In: *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 135.1043.
- Paech, W. (2013). *Beschreibung und Einsatzmöglichkeit des BAADER Mark III HYPERION Zoom-Okulars*. URL: <https://www.baader-planetarium.com/de/downloads/dl/file/id/87/beschreibung-und-einsatzmoglichkeiten-des-baader-mark-iii-hyperion-zoom-okulars-mit-clickstop-rastung.pdf> (besucht am 11.07.2025).
- Planet-Schule (2025). *Was ist ein Stern?* URL: https://www.planet-schule.de/mm/die-erde/Barrierefrei/pages/Was_ist_ein_Stern.html (besucht am 09.07.2025).
- Prog (2017). *BlackbodySpectrum loglog de*. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BlackbodySpectrum_loglog_de.svg (besucht am 15.07.2025).
- Reichardt, C. (2024). *Herleitung der Kepler’schen Gesetze aus der Beobachtung der Galilei’schen Monde des Jupiters*. Zulassungsarbeit.
- Remeis-Sternwarte, D. K. (2024). *Astronomisches Praktikum*.
- Riedl, A. (2010). *Grundlagen der Didaktik*. Franz Steiner Verlag.
- Romanik, M. und C. Wegner (2025). „Auswirkungen außerschulischer Lernortbesuche auf Schüler:innen: Ein systematisches Literaturreview für MINT-Fächer“. In: *Progress in Science Education (PriSE)* 8.2.

- RoryG (2011). *Eastex Astronomy: Focusing with a Bahtinov Mask*. URL: <https://eastexastronomy.blogspot.com/2011/03/focusing-with-bahtinov-mask.html> (besucht am 09.07.2025).
- Schaaf, F. (1998). *40 Nights to Knowing the Sky: A Night-by-Night Sky-Watching Primer*. Henry Holt und Company.
- Schecker, H., T. Wilhelm, M. Hopf und R. Duit, Hrsg. (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Schmid, M. (2008). *Meridional+SagittalPlane*. URL: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Meridional%2BSagittalPlane.png> (besucht am 21.06.2025).
- Schmid, M. (2025). *Strahlengang beim Kepler-Fernrohr*. URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Fernrohr&oldid=256955576> (besucht am 28.06.2025).
- SEOS-Projekt (2025). *Spektren der Erde*. URL: <https://seos-project.eu/earthspectra/earthspectra-c04-p03.de.html> (besucht am 30.06.2025).
- Shrimplin, V. (2023). „Dark Skies and Light Pollution: An Art-Historical Approach“. In: *Culture and Cosmos* 27.
- Sinott, R. W. (1988). *NGC 2000.0: the complete new general catalogue and index catalogues of nebulae and star clusters by J. L. E. Dreyer*. Roger W. Sinott.
- Slater, S. J. (2014). „The Development And Validation Of The Test Of Astronomy Standards (TOAST)“. In: *Journal of Astronomy and Earth Sciences Education* 1.
- Slipski, M., A. Kleinböhl, S. Dillmann, D. M. Kass, J. Reimuller, M. Wronkiewicz und G. Doran (2024). „The Cloudspotting on Mars citizen science project: Seasonal and spatial cloud distributions observed by the Mars Climate Sounder“. In: *Icarus* 419.
- Stare, J. (2014). *light pollution map*. URL: <https://www.lightpollutionmap.info> (besucht am 29.06.2025).
- Strangelove, D. (2005). *Auswirkung der Koma auf die Abbildung eines Sterns durch ein Fernrohr. Links: fehlerfreie Abbildung des Beugungsscheibchens. Rechts: starke*

- Koma*. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Koma_strangelove.jpg (besucht am 01.07.2025).
- Szücs-Csillik, I. und D. Poputa (2015). „The Astro-Biblio-Students program“. In: *DIDACTICA MATHEMATICA* 33.33.
- Urhahne, D., M. Dresel und F. Fischer (2019). *Psychologie für den Lehrberuf*. 1. Aufl. Springer Berlin, Heidelberg.
- w:de:Rainald62 (2020). *Lens5*. URL: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lens5.svg> (besucht am 11.07.2025).
- Weilbacher, P. M., A. Monreal-Ibero, A. F. McLeod, A. Ginsburg, W. Kollatschny, C. Sandin, M. Wendt, L. Wisotzki und R. Bacon (2015). „The Central Orion Nebula as seen by MUSE“. In: *The Messenger* 162.
- Williams, D. R. (2024). *Saturn Fact Sheet*. URL: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/saturnfact.html> (besucht am 11.07.2025).
- Williams, D. R. (2025a). *Moon Fact Sheet*. URL: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/moonfact.html> (besucht am 06.07.2025).
- Williams, D. R. (2025b). *Planetary Fact Sheet*. URL: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/> (besucht am 06.07.2025).
- Witze, A. (2022). „How JWST revolutionized astronomy in 2022“. In: *Nature* 612.7941.
- Zinth, W. und U. Zinth (2018). *Optik: Lichtstrahlen – Wellen – Photonen*. De Gruyter.
- Zuckermann, C. (2019). *Was ihr schon immer über die Sterne wissen wolltet*. URL: <https://nationalgeographic.de/wissenschaft/2019/03/was-ihr-schon-immer-ueber-die-sterne-wissen-wolltet/> (besucht am 09.07.2025).
- Zurek, S. (2006). *Chromatische Abberation*. URL: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chromatic_aberration_\(comparison\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chromatic_aberration_(comparison).jpg) (besucht am 01.07.2025).
- ZWO (2025). *ASI6200 Pro Series*. URL: <https://www.zwoastro.com/product/asi6200/> (besucht am 10.07.2025).

Anhang

Materialliste

Maßstabsgetreues Planetenmodell

- 40 cm Styroporball (Sonne)
- Magnetschale mit verschiedenen Magnet- und Styroporkugeln
- 3.6 mm Kugel (Erde)
- 1 mm Kugel (Mond)
- restliche Kugeln zur Verwirrung

Teleskopmodelle

- Bausätze für Kepler-Teleskop von Astromedia.de (oder Linsen mit Brennweite
- schwarzer bastelkarton
- bedruckbare Transparentfolien

Alternativer Aufbau der Teleskopmodelle

- Die ineinander verschiebbaren Tuben werden durch längere Versionen (ca. 30 cm lang) ersetzt.
- Die Feldlinse wird am anderen Ende des Tubus eingesetzt, als die Anleitung beschreibt.
- Die Objektivlinse wird durch bedruckte Transparentfolie ersetzt, die das gewünschte Objekt zeigt. Das Objekt sollte mit einem Durchmesser von ca. 1.5 cm abgebildet sein. Eine Simulation kann z.B. auf der Webseite <https://www.sternfreunde-muenster.de/orechner.php> gemacht werden.

Funktionsweise eines Teleskops

- Esslöffel
- Handlupe (ca. 5-10-fache Vergrößerung)
- Kosmetikspiegel (ca. 2-10-fache Vergrößerung)

Ersatzteile

- Styroporbälle: <https://www.kreativ-depot.de/basismaterial/styroporformen/styropor-kugeln/>
- Metallkugeln: <https://www.kugel-winnie.de/Kugeln>
- Bausatz Kepler-Teleskop: <https://astromedia.de/Das-Kepler-Teleskop>
- Lupe: <https://www.lupenhandel.de/handlupe-verchromt-schwarzer-griff.html>
- Kosmetikspiegel: <https://www.dm.de/ebelin-handspiegel-mit-2-fache-vergroesserung-p4066447499681.html>

Tabellen

Tabelle 4: Übersicht der Stationen der Führung an der Sternwarte. Die Stationen, die mit einem * markiert sind, sind in Billing, 2025 näher beschrieben

Begrüßung	
Dauer	10 min
Inhalt Methodik	Ziel der Führung, Verhaltensweisen, Einstiegsthema (Unterrichts-)Gespräch
Tellurium*	
Dauer	10-20 min
Inhalt	(inneres) Sonnensystem, Tag-Nacht-Zyklus, Jahreszeiten, Mondbewegung, Mond-/Sonnenfinsternis, Charakter des Modells
Präkonzepte	Jahreszeiten entstehen durch Änderung des Abstandes zw. Erde u. Sonne, Mondphasen entstehen durch Erdschatten, Größenordnungen
Methodik	Beobachten, Gespräch, Vorführexperiment
Mondphasen*	
Dauer	5 min
Inhalt	Entstehung der Mondphasen, Abgrenzung zu Eklipsen
Präkonzept	Mondphasen entstehen durch Erdschatten
Methodik	Schülerexperiment
Mondrotation*	
Dauer	5 min
Inhalt	Erklärung und Entstehung der gebundenen Mondrotation
Präkonzepte	Mond rotiert nicht
Methodik	Schülerexperiment
Gravitationstisch*	
Dauer	15-20 min
Inhalt	Gravitation als Krümmung der Raumzeit, Orbit des Erde-Mond-Systems um Sonne, Swing-By-Manöver, Doppelsternsysteme, Entstehung der Saturnringe, Entstehung des Sonnensystems
Präkonzepte	Gravitation ist Magnetismus, Im Weltall gibt es keine Schwerkraft
Methodik	Vortrag, Vorführexperiment, Schülerexperiment
Maßstabsmodell	
Dauer	10-15 min
Inhalt	Sonnensystem, Planeten, α -Cen System
Präkonzepte	Größenordnungen, Sonne ist kein Stern
Methodik	Ratespiel, Schülerexperiment, Vortrag

Planetenweg	
Dauer	25-30 min
Inhalt	Sonnensystem, Planeten, α -Cen System
Präkonzepte	Größenordnungen, Sonne ist kein Stern
Methodik	Gespräch, Schülerexperiment
Präzisionsuhr	
Dauer	5-10 min
Inhalt	Geschichte der Sternwarte, Koordinatensysteme
Präkonzepte	Fehlvorstellungen zur Erdbewegung
Methodik	Gespräch
Meteoriten	
Dauer	5-10 min
Inhalt	Sonnensystem, Meteoriten, Asteroiden, Kometen
Präkonzepte	Größenordnungen, im Weltall gibt es keine Schwerkraft
Methodik	Gespräch, Vorführexperiment
Museumsgang	
Dauer	20-30 min
Inhalt	Geschichte der Sternwarte, Teleskopaufbau, astronomische Beobachtung
Präkonzepte	Instrumente senden Signal aus, IR ist rot, UV ist blau, Licht wird eingefärbt, künstliche/natürliche Strahlung
Methodik	Gespräch, Vorführung
Teleskopmodelle	
Dauer	10-15 min
Inhalt	Geschichte der Sternwarte, astronomische Beobachtung, Teleskopaufbau
Präkonzepte	Instrumente senden Signal aus, zum Sehen muss es hell sein, Licht wird eingefärbt
Methodik	Schülerexperiment
Teleskopfunktion	
Dauer	5-10 min
Inhalt	Teleskopaufbau
Präkonzepte	Instrumente senden Signal aus, zum Sehen muss es hell sein, Licht wird eingefärbt, künstliche/natürliche Strahlung, Licht kann mehr oder weniger werden
Methodik	Vorführexperiment, Beobachten
Kuppel	
Dauer	20-30 min
Inhalt	Arbeitssicherheit, Funktion der Kuppel, Funktion des Teleskops, astronomische Beobachtung, Geschichte der Sternwarte, Koordinatensysteme
Präkonzepte	Größenordnungen, Licht kann mehr oder weniger werden, zum Sehen muss es hell sein, Licht wird eingefärbt, Erdbewegung
Methodik	Gespräch, Vorführexperiment, Beobachten

Erklärung zur Hausarbeit gemäß 29 (Abs.6) LPOI

Hiermit erkläre ich, dass die vorliegende Arbeit von mir selbstständig verfasst wurde und keine anderen Hilfsmittel als die angegebenen benutzt wurden. Weitere Personen waren an der Fertigung nicht beteiligt. Die Stellen der Arbeit, die anderen Werken dem Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, sind in jedem einzelnen Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht. Die Stellen der Arbeit, die unter dem Einsatz von generativer Künstlicher Intelligenz erstellt wurden, sind in jedem einzelnen Fall unter Angabe des verwendeten technischen Hilfsmittels dokumentiert. Ggf. bestehende fachspezifische Anforderungen (z. B. des Lehrstuhls, des Fachbereichs oder der Hochschule) hinsichtlich des Umfangs dieses Einsatzes und der Art der Dokumentation wurden eingehalten. Diese Erklärung erstreckt sich auch auf etwa in der Arbeit enthaltene Zeichnungen, Kartenskizzen und bildliche Darstellungen.

Erlangen, 18.07.2025

Heiko Nagel