

Zwillingstest nach der Sternenlichtmethode oder Was uns das Sternenlicht über die „Zwillinge“ Kastor und Pollux erzählt

(Facharbeit aus dem Fach Physik von Christiane Hanisch, Lebus)

1. Einleitung

Die Sternkunde ist eine der ältesten Wissenschaften. Die Menschen nutzten sie für Bedürfnisse im Alltag, z.B. für die Seefahrt zur Feststellung des Aufenthaltsortes oder, wie den Aufgang des Sirius, für die Hochwasservorhersage am Nil. So wurde es notwendig die Sterne in eine Systematik einzuordnen. Besonders helle Sterne bekamen einen Namen und markante Figuren wurden zu Sternbildern zusammengefaßt.

Ein Sternbild ist eine zusammengefaßte Gruppe von Fixsternen, die an der Himmelskugel benachbart sind. Man unterscheidet je nach ihrer Lage zum Himmelsäquator nördliche, südliche und Sternbilder der Äquatorzone. Da sich der Ort der Sonne an der Himmelskugel als Folge der Erdbewegung in Laufe eines Jahres ändert, wechseln die sichtbaren Sternbilder periodisch mit den Jahreszeiten. Dementsprechend unterteilt man grob in Sommer- und Wintersternbilder. Die Sternbilder, die auf der scheinbaren jährlichen Bahn der Sonne, der Ekliptik, liegen, werden als Sternbilder des Tierkreises bezeichnet. Zum Tierkreis gehören die zwölf Tierkreissternbilder Widder, Stier, Zwillinge, Krebs, Löwe, Jungfrau, Waage, Skorpion, Schütze, Steinbock, Wassermann, Fische [1]. Eines der ältesten Sternbilder sind die „Zwillinge“ (Gemini) in Abb. 1.

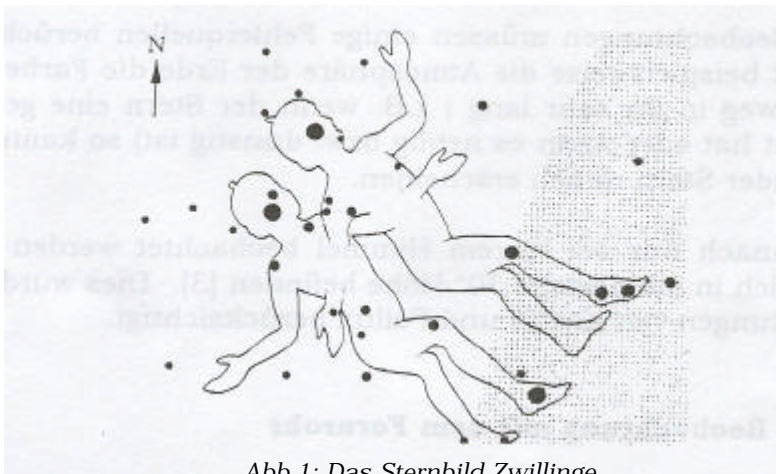


Abb. 1: Das Sternbild Zwillinge

Die Zwillinge gehören zu den Sternbildern des nördlichen Himmels, die im Winter während der gesamten Nacht sichtbar sind. Die Sonne durchläuft dieses Sternbild von Mitte Juni bis in die zweite Julihälfte. Durch die beiden dazugehörigen, hellen Sterne Kastor und Pollux kann man das Sternbild am Himmel leicht finden. Sie markieren die beiden Köpfe der Zwillinge. Die griechische Mythologie erzählt, daß Kastor und Pollux, die Söhne des Zeus und der Leda, zur Belohnung für ihre brüderliche Treue an den Sternhimmel versetzt worden sind [2].

Außer den beiden nahezu gleich hellen Sternen weist das Sternbild eine gewisse Symmetrie auf, die ebenfalls zu der Namensgebung beitrug. Ob sich Kastor und Pollux tatsächlich wie Zwillinge ähneln bzw. ob diese Namensgebung aus astrophysikalischer Sicht gerechtfertigt ist, sollte im Rahmen dieser Arbeit durch einfache Beobachtungen des Lichtes der beiden Sterne überprüft werden.

2. Beobachtungsmethoden

Nachfolgend werden die zur Beantwortung der eingangs genannten Fragestellung durchgeführten Beobachtungen näher beschrieben.

2.1 Visuelle Beobachtungen mit dem Auge

Die Sternbeobachtung mit dem unbewaffneten Auge ist die einfachste Beobachtungsmethode, da sie keinerlei Zusatzinstrumente erfordert. Sie war bis in die Zeit von Kepler (1571- 1630) die einzige Möglichkeit Sterne zu beobachten.

Auch im Zeitalter leistungsfähiger Fernrohre ist diese Methode nicht zu unterschätzen, da sie solch wichtige Beobachtungen wie unterschiedliche Färbungen, Bewegungsabläufe, aber auch Helligkeitsschätzungen der Gestirne ermöglicht.

Das menschliche Auge benötigt eine bestimmte Mindestlichtstärke, damit die farbempfindlichen Netzhautzäpfen überhaupt ansprechen. Deshalb ist es schwer mit dem bloßen Auge z.B. die Farbe eines Sternes genau zu erkennen, denn das Sternlicht besitzt oft nur eine geringe Helligkeit. Nur die hellsten Sterne erreichen diese Mindeststärke des Lichtes und es können ihnen dann Farben zugeordnet werden.

Bei diesen Beobachtungen müssen einige Fehlerquellen berücksichtigt werden. So verfälscht beispielsweise die Atmosphäre der Erde die Farbe des Sternlichts. Ist der Lichtweg in ihr sehr lang (z.B. wenn der Stern eine geringe Höhe über dem Horizont hat oder wenn es neblig bzw. dunstig ist) so kann selbst ein bläulich leuchtender Stern rötlich erscheinen.

Es darf demnach nur bei klarem Himmel beobachtet werden und nur solche Sterne, die sich in mindestens 30° Höhe befinden [3]. Dies wurde bei den visuellen Beobachtungen von Kastor und Pollux berücksichtigt.

2.2 Visuelle Beobachtung mit dem Fernrohr



Abb.2: Amateurstation und Zeiss-Meniscas- Spiegelteleskop 180/1800. Wichtige Kenngrößen des Fernrohres sind in Tabelle 1 erläutert

Diese Beobachtung erfolgte mit einem Zeiss- Meniscas 180/1800 Spiegelteleskop (Reflektor) in der Amateurstation meines Vaters in Lebus. Beides ist in Abb. 2 dargestellt. In Abb. 3 soll kurz das optische Prinzip der Maksutow- Cassegrain- Anordnung dieses Teleskops dargestellt werden. Die Lichtstrahlen treffen auf die Öffnung des Fernrohres und gelangen durch die Meniscaslinse, an der ein Hilfsspiegel angebracht ist, auf den Hauptspiegel. Die Meniscaslinse hat den Vorteil, daß sie den Fehler der koma-förmigen Verzeichnung der Bildpunkte aller nicht achsenparallel (schief)

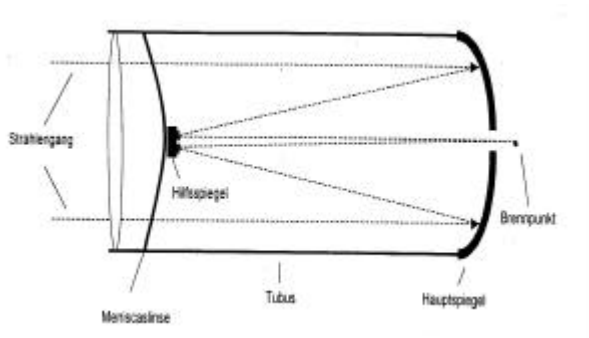


Abb. 3 Strahlengang im Makutow-Cassegrain-Teleskop

einfallenden Lichtstrahlen beseitigt. Am Hauptspiegel wird das Licht reflektiert. Noch vor dem Brennpunkt gelangt es auf einen Hilfsspiegel, der die Strahlen erneut reflektiert, und durch ein Loch im Hauptspiegel zum Brenn-

punkt leitet. Dort kann mit einem Okular das entstandene Bild betrachtet werden [5].

Tab. 1: Kenngrößen des Fernrohrs

Kenngröße	Bedeutung	konkret am Fernrohr
Brennweite	bestimmt sowohl die möglichen Vergrößerungen als auch die Größe des Blickfeldes	$f = 1800 \text{ mm}$
Öffnung	bestimmt, wie viel Licht gesammelt wird	$d = 180 \text{ mm}$
Öffnungsverhältnis	macht die Lichtstärke eines Fernrohrs aus	$d / f = 1 / 10$
Vergrößerungen	ergeben sich als Quotient von Objektivbrennweite und Okularbrennweite	45 x; 72 x; 112,5 x; 180 x; 300 x
Auflösungsvermögen	Maß für das Trennvermögen eines Fernrohrs für zwei eng benachbarte Punkte allgemein gilt: $s = 115 / d$ (in mm) [4]	$s = 0,64''$

Das Fernrohr ist parallaktisch auf einer Zeiss Ib- Montierung so aufgestellt, dass es mit einer elektrischen Nachführung, die für unsere Breite charakteristische Bahn der Sterne am Himmel exakt nachvollzieht. Die visuelle Beobachtung wurde mit mehreren, in einem Okularrevolver befindlichen Okularen der Brennweiten 40/25/16/10/6 mm durchgeführt. Dabei wurden die verschiedenen Okulare, beginnend mit der kleinsten Vergrößerung, nacheinander in den Strahlengang eingesetzt.

2.3 Fotografische Beobachtungen (Sternspuraufnahme)

Die Strichspurbeobachtung erfolgte mit einer ruhenden, auf einem Stativ befindlichen Kamera EXAKTA/Ib ($f=50\text{mm}; 1:1,8$). Eine Sternspur entsteht durch die fehlende Nachführung der Kamera infolge der Bewegung des Sternes (ein Stern bewegt sich: $15^\circ/\text{h}$ bzw. $15'/\text{min}$).

Die Länge der Sternspur ist weiterhin abhängig vom Abstand des Sternes zum Himmelspol. Je dichter sich der Stern am Himmelspol befindet, um so kürzer werden die Sternspuren in einem bestimmten Zeitintervall, verglichen mit äquatornahen Sternen. Eine Sternspuraufnahme auf einem Farbfilm ermöglicht eine farbige Dokumentation des Sternlichtes. Die Belichtung erfolgte als Dauerbelichtung während 11min auf dem Dia-Positivfilm KODAK Elite Chrome 200. Der sichtbare Himmelsabschnitt ist bei diesen Objektivparametern etwa 32° groß, so daß das gesamte Sternbild Zwillinge abgebildet werden kann.

2.4 Spektroskopische Beobachtungen

Um eine Spektralanalyse eines Himmelskörpers durchführen zu können, muß dessen Licht zerlegt werden. Dabei erhält man ein Sternspektrum, welches aus einem von Emissions- oder Absorptionslinien überlagerten kontinuierlichen Spektrum besteht. Aus den Sternspektren kann man wichtige Informationen über die physikalische und chemische Beschaffenheit der Sternatmosphäre gewinnen [6].

Die spektroskopische Beobachtung wurde mittels eines Objektivprismenspektrographen durchgeführt. Das in 2.2 beschriebene Fernrohr wurde dabei durch ein vorgesetztes Objektivprisma ergänzt. Der Unterschied im Brechungswinkel für rotes und blaues Licht hängt u.a. vom brechenden Winkel des Prismas und von dessen Glassorte ab. Bei dem verwendeten Prisma handelt es sich um ein Schwerflintprisma SF2 von 205mm Durchmesser und 5° brechendem Winkel.

Im Brennpunkt des Spiegelobjektivs befindet sich, wie bei der Sternstrichspuraufnahme, eine Fotoemulsion: KODAK TP (für die schwarz-weiß Spektren) sowie KODAK Elite 200 (für die Farbspektren) in der Kleinbildkamera. Bei der Durchführung der Beobachtung wurde zuerst der Stern mit Hilfe des Suchfernrohrs aufgesucht. In der Kamera kann man dann bereits den in seine Spektralfarben zerlegten Stern erkennen. Das Sternspektrum ist zunächst als sehr schmales Band sichtbar, deshalb ist eine Verbreiterung notwendig. Zur Kontrolle dieser Verbreiterung wird ein Leitrohr benötigt. Dieses ist ein Refraktor 63/840 von Zeiss (Schulfernrohr) mit einem 16mm Okular, welches einen Fadenkreuzeinsatz besitzt. Das Leitrohr ist gegenüber dem Aufnahmeinstrument um etwa 5° geneigt, damit man auch im Leitrohr den gleichen Stern, dessen Licht in die Aufnahmeoptik fällt, sehen kann.

Zur Verbreiterung des Spektrums wird eine Pendeltechnik verwendet. Der Stern wird genau so eingestellt, daß er sich auf einem Schnittpunkt des Fadenkreuzes befindet. Nun pendelt man immer zwischen einem bestimmten Abstand (hier ein ¼- Karo) hin und her. So erhält man ein breiteres Spektrum, auf dem dann auch Spektrallinien sichtbar sind.

Um alle Spektralbereiche eines Spektrums ausreichend zu belichten, sind oft mehrere Belichtungen (unterschiedliche Anzahl der Pendelbewegungen) erforderlich. Deshalb wurden sowohl bei Kastor als auch bei Pollux unterschiedlich lang belichtete Aufnahmen direkt nacheinander aufgenommen.

3. Beobachtungsergebnisse und Diskussion

Entsprechend der Reihenfolge der in Punkt 2 beschriebenen Beobachtungsmethoden werden nachfolgend die erzielten Beobachtungsergebnisse vorgestellt.

3.1 Visuelle Beobachtungen ohne Fernrohr

Am 11. 01. 2003 gegen 20.00 Uhr wurde das Sternbild Zwillinge mit Hilfe einer Sternkarte am Osthimmel aufgesucht und Kastor und Pollux identifiziert.

Das erste Beobachtungsergebnis kann aus dem augenscheinlichen Farbeindruck abgeleitet werden:

- Kastor sieht nahezu weiß aus, während Pollux eher als ein rötlich-gelber Stern erscheint.

Das zweite Ergebnis bezieht sich auf die Helligkeit:

- Die beiden Sterne scheinen ungefähr gleich hell zu sein. Eventuell ist Pollux etwas heller.

Selbst wenn die zwei Sterne gleich hell wirken, muß das nicht heißen, daß sie in Wirklichkeit auch die gleiche Helligkeit besitzen. Andererseits erkennt man Sterne, die wirklich gleich hell sind, möglicherweise nicht als solche, weil sie entweder unterschiedlich weit von der Erde entfernt sind oder eine andere Leuchtkraft besitzen. Die Helligkeit ist in der Astronomie ein Maß für den von einem Himmelskörper empfangenen Strahlungsstrom (Intensität). Man unterscheidet die absolute von der scheinbaren Helligkeit. Die scheinbare Helligkeit wird als eine physikalische Größe mit m (von lat. *magnitudo* „Größe“) bezeichnet und in Größenklassen (Größen) gemessen. Ursprünglich gab es nur 6 Klassen.

Die hellsten Sterne wurden zur Größenklasse 1, die gerade noch mit bloßem Auge sichtbaren zur 6. Größenklasse gezählt. Seitdem man mit optischen Geräten schwächere Sterne sehen kann, wurden immer mehr Klassen (von 6 aufwärts bis ca. 20) unterschieden. Unter Hinzurechnung der hellen Planeten, des Mondes und der Sonne sind auch negative Größenklassen möglich.

Die absolute Helligkeit eines Sternes ergibt sich, wenn man alle Sterne aus 10 pc (Parsek) Entfernung betrachten würde. Das Parsek ist in der Astronomie eine Maßeinheit für die Entfernung (wie z.B. auch das Lichtjahr, $1 \text{ pc} = 3,26 \text{ Lichtjahre}$) und setzt sich aus den zwei Wörtern Parallaxe = (griech. „Abweichung“) und Sekunde zusammen [7].

Die absolute Helligkeit ist ein Maß für die Leuchtkraft (Strahlungsleistung) eines Sternes und sie ist nicht abhängig von der Entfernung (wie die scheinbare Helligkeit) des Sternes. Auch sie wird in Größenklassen angegeben, aber mit M bezeichnet.

Kennt man die scheinbare Helligkeit und die Entfernung, so läßt sich daraus die absolute Helligkeit berechnen. Die Intensität einer Strahlungsquelle ist umgekehrt proportional zu dem Quadrat ihrer Entfernung. Ist also I die wirkliche Strahlungsintensität eines Sternes, der in der Entfernung r (in pc) steht, und ist I_{10} die Intensität, die seine Strahlung in einer Entfernung von 10 pc hätte, so gilt:

$$I / I_{10} = 10^2 / r^2 \quad .$$

Für die Differenz von scheinbarer und absoluter Helligkeit gilt daher:

$$m - M = - 2,5 \times \log I / I_{10} \quad [8]$$

Aus der Literatur [9] lassen sich folgende Daten für die scheinbare Helligkeit der beiden Sterne Kastor und Pollux entnehmen:

Pollux	1, m 15
Kastor	1, m 56

Pollux besitzt demnach eine etwas größere scheinbare Helligkeit als Kastor.

3.2 Visuelle Beobachtungen mit Fernrohr

Am 11.01.2003 gegen 20.30 Uhr wurden die beiden „Zwillingssterne“ mit dem in 2.2 beschriebenen Teleskop beobachtet. Dabei zeigte sich der unterschiedliche Farbeindruck von Kastor (weiß) und Pollux (gelb-rötlich) ausgeprägter als mit bloßen Auge.

Eine zweite interessante Beobachtung war, daß mit zunehmender Vergrößerung beim Kastor, anstatt des einen Sternes, zwei etwa gleich helle Sterne erkannt werden konnten, während Pollux bei jeder Vergrößerung nur als ein Stern sichtbar war. Der am Fernrohr bei verschiedenen Vergrößerungen erhaltene Beobachtungseindruck ist in der nächsten Seite dargestellten Tabelle 2 ersichtlich.

Tab. 2: Beobachtung von Kastor und Pollux bei verschiedenen Vergrößerungen

Stern	V = 45	V = 72	V = 112,5	V = 180	V = 300
Kastor	○	○	○○	○○	○ ○
Pollux	●	●	●	●	●

Während der Beobachtung wurde folgendes deutlich:

Kastor ist unter diesen Beobachtungsbedingungen als Doppelstern sichtbar (in Wirklichkeit aber ein Mehrfachsternsystem, d.h. ein Dreifachsystem, wobei jede Komponente nochmals doppelt ist) [10].

Bei den Doppelsternen unterscheidet man optische und physische Doppelsterne. Als optische Doppelsterne werden zwei Sterne bezeichnet, die von der Erde aus sehr nahe beieinander stehen, während sie tatsächlich eine ganz verschiedene Entfernung zur Erde besitzen und somit räumlich weit voneinander getrennt sind. Physische Doppelsterne sind Sterne, die einen geringen räumlichen Abstand haben und die sich demzufolge stark anziehen. Sie bilden eine physische Einheit und bewegen sich um den Schwerpunkt des von ihnen gebildeten Systems.

Die Hauptkomponente (Hauptstern) wird mit A bezeichnet, also der Stern, der massereicher oder heller ist. Die Komponente, die masseärmer oder lichtschwächer ist, wird Begleiter oder B-Komponente genannt. Wenn ein physisches System aus mehr als zwei Sternen besteht, nennt man es Mehrfachsternsystem. Nur bei den physischen Doppelsternen lassen sich zuverlässige Daten von Masse, Durchmesser und Dichte ermitteln, deshalb sind sie astrophysikalisch wichtig.

Man unterteilt die physischen Doppelsterne nach der Möglichkeit ihrer Beobachtung in vier Gruppen: die visuellen, spektroskopischen, photometrischen und astrometrischen Doppelsterne. Visuelle Doppelsterne sind solche, die man mit optischen Hilfsmitteln getrennt wahrnehmen kann. Wobei es oft schwierig bzw. erst nach Jahren zu entscheiden ist, ob es sich um einen optischen oder physischen Doppelstern handelt.

Bei spektroskopischen Doppelsternen sind die beiden Komponenten so eng zusammen, daß man sie optisch nicht mehr trennen kann. Sie sind nur daran zu erkennen, daß sich ihre Spektren überlagern und die Spektrallinien periodisch

verschieben. Es handelt sich um photometrische Doppelsterne, wenn zeitweilig die eine Komponente die andere verdeckt und es dadurch zu Helligkeitsänderungen kommt. Der Nachweis von Doppelsternen läßt sich bei ihnen durch photometrische Methoden bestimmen. Bei den astrometrischen Doppelsternen schließt man aus periodischen Positionsänderungen des Sternes auf die Existenz eines unsichtbaren Begleiters [11].

Die beiden Hauptkomponenten des Kastor besitzen einen Winkelabstand von 2''. Bei dem beschriebenen Auflösungsvermögen des Fernrohrs von 0,64'' sind sie also ohne weiteres zu trennen [12].

3.3 Fotografische Beobachtungen (Sternspuraufnahme)

Die Sternspuraufnahme wurde am 30. 01. 2003 von 21.16 Uhr bis 21. 27 Uhr MEZ auf einen KODAK Elitechrome 200 - Film mit einem Objektiv 18/50 belichtet. Sie ist in Abb. 4 zu sehen.



Abb. 4:
Sternspuraufnahme aus dem Bereich des Sternbildes Zwillinge

Leider musste die Aufnahme nach einer Belichtungszeit von 11 min wegen aufziehender Wolken abgebrochen werden.

Beobachtungsergebnis:

Die bei den visuellen Beobachtungen gewonnenen unterschiedlichen Farbeindrücke bestätigen sich auf dem Foto und können dort dauerhaft dokumentiert werden. Kastor erscheint als weißer, Pollux als gelblich-roter Stern. Möglicherweise wäre der Farbunterschied bei etwas geringerer Belichtung (z.B. durch Abblenden des Objektivs) noch deutlicher geworden.

Wie aus Tabelle 3 hervorgeht, steht die Farbe eines Sterns im Zusammenhang mit seiner Oberflächentemperatur.

Tabelle 3: Sternfarben und Sterntemperaturen

Farbe des Sternlichtes	Temperatur an der Oberfläche (in K)
bläulich	25 000
bläulichweiß	15 000
weiß	9 000
gelblichweiß	7 000
gelblich	6 000
gelborange	4 000
rötlich	2 500

Es gilt die Regel: je rötlicher ein Stern erscheint, desto geringer ist seine Oberflächentemperatur. Daraus folgt, beide Sterne unterscheiden sich in ihrer Oberflächentemperatur, d.h., in der Temperatur der für uns sichtbaren Sternatmosphäre. Eigentlich haben die Sterne keine richtige Oberfläche, denn sie sind Gaskugeln, die nach außen allmählich in den Weltraum übergehen. Das Gas ist aber in den meisten Sternen wegen der großen Massen infolge der Schwerkraft so dicht zusammengepresst, dass die Übergangsschicht vernachlässigt werden kann. Dennoch entsteht in dieser Übergangsschicht (Photosphäre) der für uns wahrnehmbare Farbeindruck. Pollux ist ein rötlicher und Kastor ein nahezu weißer Stern, d.h. das Kastor eine höhere Oberflächentemperatur besitzt als Pollux [6].

Aus Tabelle 3 kann die Oberflächentemperatur für Kastor auf etwa 9000 K und für Pollux auf etwa 4000 K grob abgeschätzt werden. Dies stimmt recht gut mit den in der Literatur angegebenen Werten für Kastor von ca. 10000 K sowie für Pollux 4500 K überein [10, 13].

Eine Erklärung der unterschiedlichen Farbeindrücke infolge verschiedener Oberflächentemperaturen lässt sich aus den allgemeinen Strahlungsgesetzen der Physik ableiten. Jeder Körper sendet eine elektromagnetische Strahlung aus, deren Eigenschaften von seiner Temperatur und Beschaffenheit abhängig sind. Er kann umso mehr Strahlung aussenden, je größer sein Vermögen ist, Strahlung zu absorbieren. Dafür wurde ein Modell entwickelt, das Schwarzer Körper genannt wird. Dieser Schwarze Körper absorbiert die gesamte Strahlung, die auf ihn trifft. Demzufolge sendet er von allen Körpern (mit gleicher Temperatur) die meiste Strahlung aus, die so genannte Schwarze Strahlung.

Die Energieverteilung im Spektrum eines Schwarzen Strahlers wird durch das Plancksche Strahlungsgesetz beschrieben, das besagt: Die Energiedichte ist an jeder Stelle im Spektrum umso höher, je größer die Temperatur T des Strahlers ist. Das Energiemaximum verschiebt sich mit wachsender Temperatur immer weiter zu kürzeren Wellenlängen. Beide Sachverhalte werden durch Abb.5 (nächste Seite) verdeutlicht. Das Produkt aus Wellenlänge und Temperatur ist konstant (Wiensches Verschiebungsgesetz).

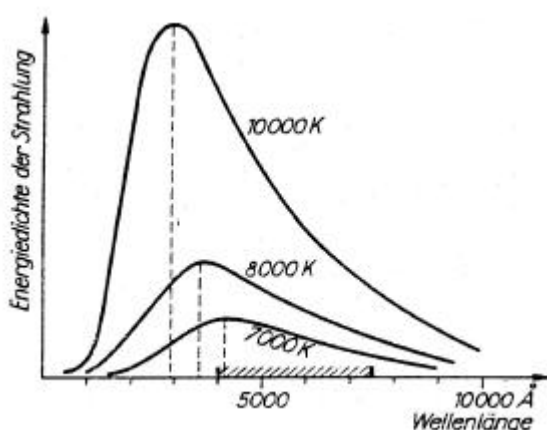


Abb. 5:
Energieverteilung im Spektrum Schwarzer Körper bei verschiedenen Temperaturen [14]

Das Stefan- Boltzmannsche Gesetz besagt: Summiert man die Strahlungsenergie über das gesamte Spektrum, erhält man die Energie der Gesamtstrahlung. Diese ist nur von der Temperatur abhängig, sie wächst proportional zu T^4 [14]. Für den Vergleich von Kastor und Pollux folgt daraus:

1. Auf Grund der höheren Temperatur muss das Maximum der abgestrahlten Energie bei Kastor bei geringeren Wellenlängen liegen.
2. Kastor besitzt bei jeder Wellenlänge eine höhere Energiedichte.
3. Die Energie der Gesamtstrahlung muss bei Kastor deutlich größer sein, da die Temperatur mit der vierten Potenz eingeht.

3.4 Spektroskopische Beobachtungen

Die Spektralaufnahmen erfolgten am 11. 01. 2003 (schwarz-weiß Aufnahmen) und am 01.02 2003 (Farbaufnahmen) mit den folgenden Belichtungszeiten:

Kastor: 21.25 Uhr – 21.31 Uhr MEZ (sw- Aufnahme) bzw. 21.54 Uhr - 22.00 Uhr MEZ (Farbaufnahme)

Pollux: 21.41 Uhr – 21.50 Uhr MEZ (sw- Aufnahme) bzw. 23.52 Uhr - 23.58 Uhr MEZ (Farbaufnahme).

Das Aussehen des Spektrums von Kastor und Pollux im sichtbaren Bereich ist in Abb. 6 dargestellt.

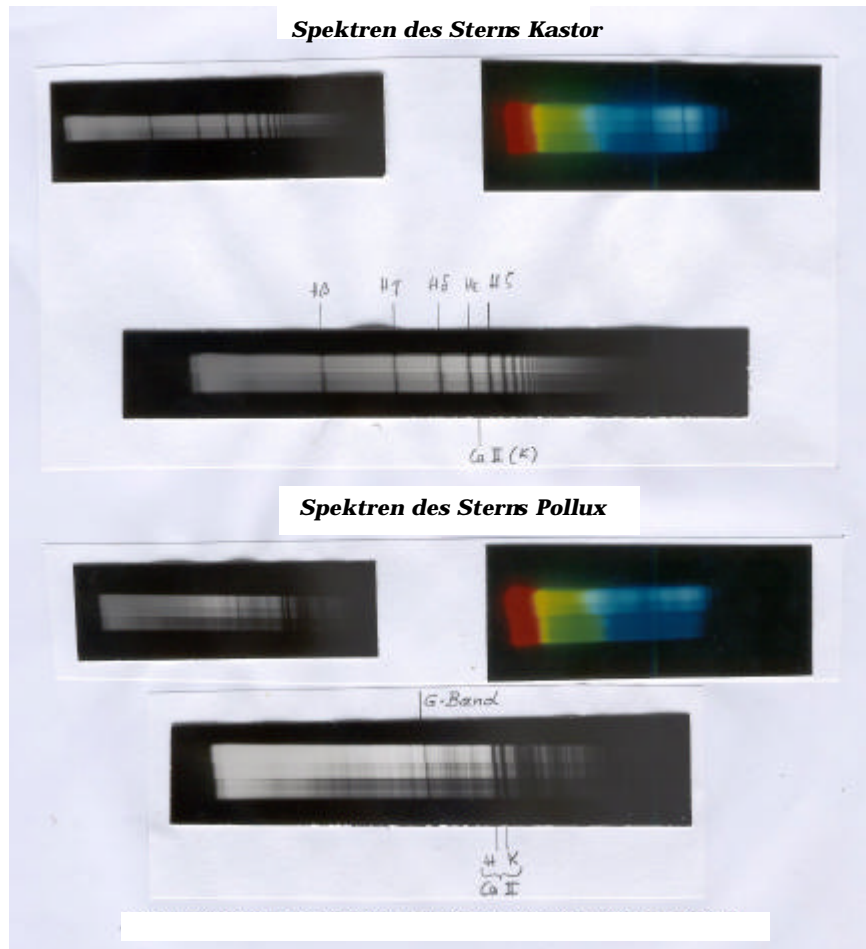


Abb. 6: Spektren von Kastor und Pollux (schwarz-weiß und farbig)

Mit einer jeweils fünffachen Negativvergrößerung werden zum Zwecke der Grobzuordnung der Wellenlängenbereiche ein Farb- und ein schwarz-weiß-Spektrum gegenübergestellt. Die Bezeichnung wichtiger Spektrallinien erfolgt aus Gründen der Übersichtlichkeit an den zwölfmal vergrößerten Abzügen der schwarz-weiß-Spektren.

Aus Abb. 6 ist ersichtlich, dass sich die Spektren von Kastor und Pollux schon augenscheinlich deutlich unterscheiden. Das Spektrum des Kastors weist eine Reihe von Absorptionslinien auf, die sehr deutlich zu erkennen sind. Verglichen mit Standardspektren in Abb. 7 und unter Berücksichtigung der Aussagen der Tabelle 4 handelt es sich bei diesen Linien um die Balmerlinien des Wasserstoffs, H β , H γ , H δ usw. (H α ist im roten Spektralbereich zu finden und hier

überbelichtet). Das bedeutet, dass sich in der Sternatmosphäre des Kastors Wasserstoff befindet und die Anregungsbedingungen für die Balmerlinien bei diesen Temperaturen günstig sind. Ganz schwach ist auch eine Kalziumlinie zu sehen.

Beim Pollux sind zwei starke Absorptionslinien gut sichtbar. Es sind dies die so genannten Kalziumlinien H und K (Vergleich Abb. 7). Außerdem tritt das G-Band (bei höher aufgelösten Spektren viele eng benachbarte Metalllinien) deutlich hervor. Für diese sind bei der geringeren Oberflächentemperatur des Pollux ebenfalls die Anregungsbedingungen sehr günstig.

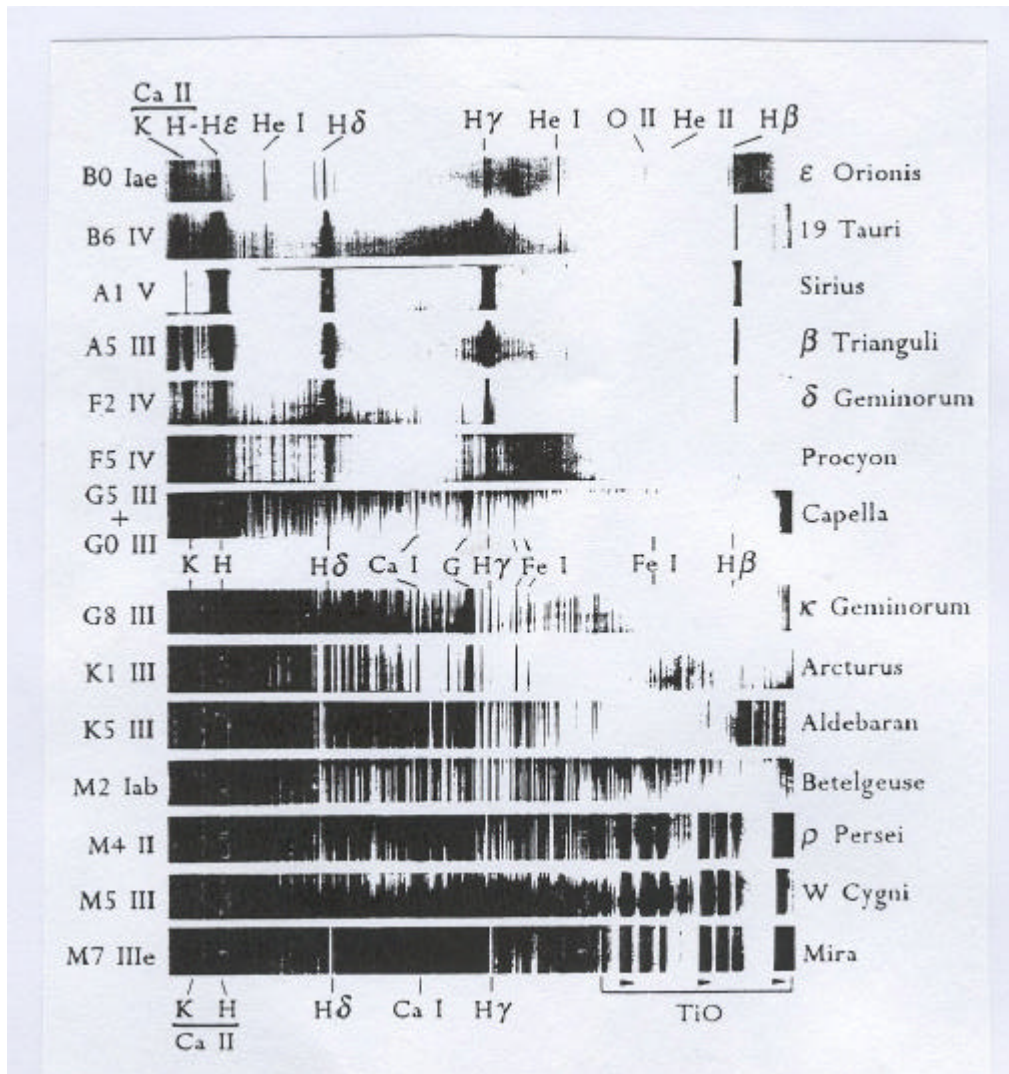


Abb. 7: Klassische Spektralsequenz [15]

Anmerkung:

Die exakte Identifizierung der Linien erfolgt normalerweise mit Hilfe von Kalibrierspektren (z.B. einer Quecksilberlampe), welche mit derselben Aufnahmenoptik wie der Stern aufgenommen werden. Das Aufnehmen eines Kalibrierspektrums und das Ableiten einer daraus abgeleiteten Dispersionskurve würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

Um die Vielfalt der Sternspektren zu ordnen, führte man eine Spektralklassifikation ein, wobei nach rein empirischen Kriterien entsprechend des Aussehens der Spektren Hauptpektralklassen festgelegt wurden.

Die Hauptspektralklassen werden durch die großen Buchstaben: O- B- A- F- G- K- M gekennzeichnet. Neben dieser Hauptfolge der O- bis M- Sterne gibt es auch Nebenfolgen, auf die hier jedoch nicht näher eingegangen werden soll. Um eine noch feinere Unterscheidung und Charakterisierung zu bekommen, unterteilt man die einzelnen Spektralklassen, indem man die Ziffern 0 bis 9 an die großen Buchstaben setzt (außer bei der Klasse O, bei der sie mit O5 beginnt). So folgt z.B. auf F9 die Spektralklasse G0. Den Spektralklassen können ebenfalls charakteristische Oberflächentemperaturen zugeordnet werden. Die O-Sterne haben die höchste und die M- Sterne die niedrigste Temperatur.

Wichtige spektrale Merkmale der Hauptspektralklassen sowie die zugehörigen Oberflächentemperaturen sind aus Tabelle 4 zu entnehmen. Um eine Einordnung der Spektren von Kastor und Pollux in die Hauptfolge der Spektralklassen zu erreichen, können die spektralen Merkmale mit denen von Standardsternen der Hauptfolge verglichen werden. Standardspektren einer solchen Hauptsequenz sind der Abb. 8 zu entnehmen (Aufnahmen von Bernd Hanisch, Oktober 1990 auf AGFA 1000 RS).

Tab. 4: Gegenüberstellung von Hauptspektraltyp, Oberflächentemperatur und wichtigen spektralen Merkmalen [16]

Spektraltyp	Oberflächentemperatur (in K)	Spektrale Merkmale
O	28 000 - 50 000	Absorptionslinien des ionisierten Heliums auf intensivem kontinuierlichen Spektrum im kurzwelligen Bereich
B	9 990 - 28 000	Absorptionslinien des neutralen Heliums und des Wasserstoffs (Balmerlinien)
A	7 400 - 9 900	Balmerlinien dominierend; einige Linien ionisierter Metalle; schwache Kalziumlinien H und K
F	6 000 - 7 400	Balmerlinien schwächer; H und K verstärkt; Auftreten des G-Bandes (eng beieinander liegende Metalllinien)
G	4 900 - 6 000	H und K noch stark ausgeprägt; zahlreiche Metalllinien; kräftige Eisenlinien; noch erkennbare Balmerlinien
K	3 500 - 4 900	H und K noch deutlich, G-Band am stärksten; erstes Auftreten von Titanoxid- Banden
M	2 000 - 3 500	Titanoxid- Banden; G- Band in einzelnen Linien aufgelöst

Ein Vergleich ergibt das folgende Resultat:

Kastor entspricht der Spektralklasse A --> sein Spektrum ähnelt dem der Wega
 Pollux gehört in die Spektralklasse K --> sein Spektrum ist vergleichbar mit dem des Aldebaran. Aus den Literaturangaben bekommt man die exakten Werte für die Spektralklassifizierung:

Kastor gehört zur Spektralklasse A1 und Pollux ist in die Spektralklasse K0 einzuordnen [17].

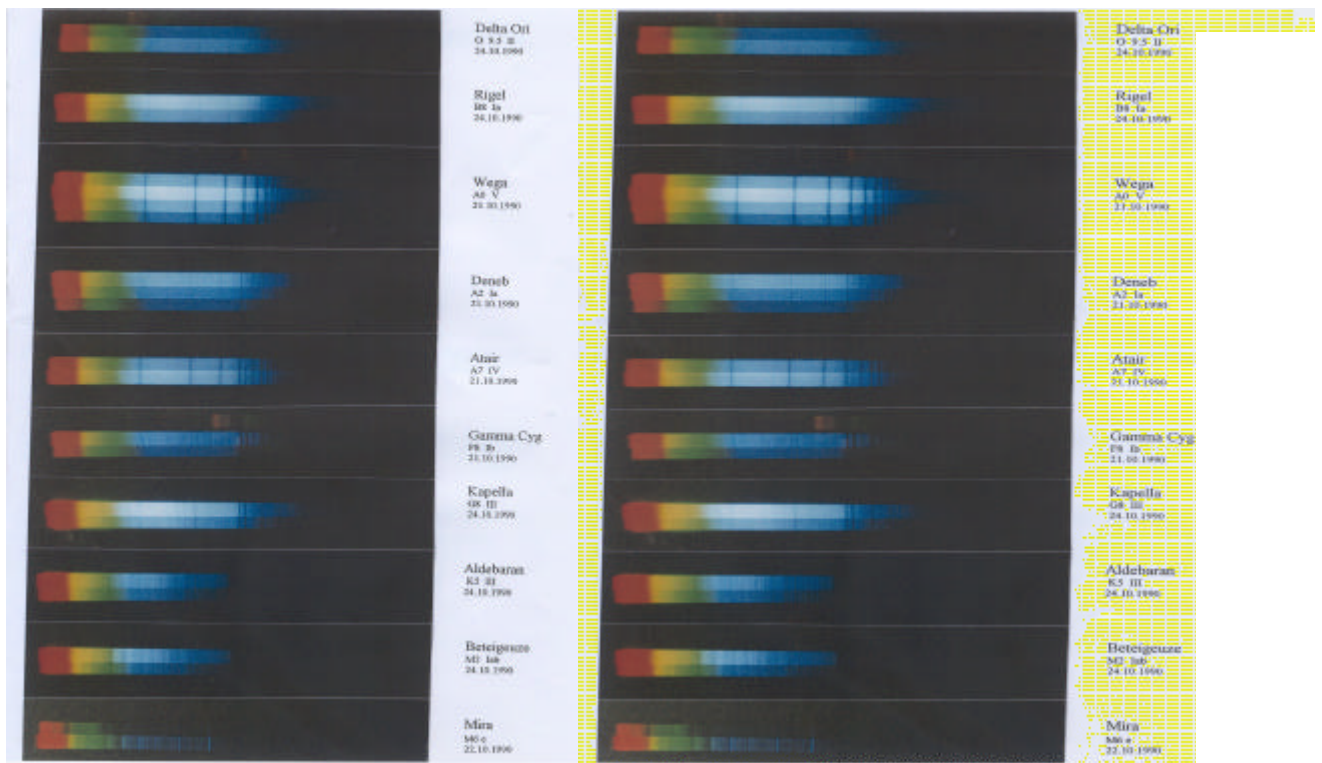


Abb. 8 Standardspektren der Hauptsequenz (Aufnahmen B. Hanisch, Oktober 1990 auf AGFA 1000 RS).

Das Spektrum wird jedoch durch die Angabe der Spektralklasse noch nicht eindeutig bestimmt. Deshalb wurde zusätzlich eine zweidimensionale Spektralklassifikation eingeführt, bei der außerdem die Leuchtkraft eines Sternes berücksichtigt wird. Die Leuchtkraft, also die je Sekunde von einem Stern abgestrahlte Energie, kann in fünf Leuchtkraftklassen (I - V) eingeteilt werden. Diese fünf Klassen, die wichtige Hinweise zur physikalischen Beschaffenheit und zum Entwicklungsstadium eines Sterns geben, werden später beschrieben.

Wird nun das Spektrum des Kastors mit den Spektren anderer A-Sterne (Wega und Deneb in Abb. 8 verglichen, lässt sich ansatzweise eine Aussage über die Leuchtkraftklasse von Kastor machen. Es ist deutlich erkennbar, dass Wega viel breitere Linien besitzt als Deneb. Wega und Deneb unterscheiden sich zwar nicht in ihrer Hauptspektralklasse (beides A- Sterne), jedoch in ihrer Leuchtkraftklasse. Wega gehört zur Leuchtkraftklasse V, Deneb hingegen zur Leuchtkraftklasse I [18].

Da das Kastorspektrum bezüglich der Linienbreite eher dem der Wega gleicht, dürfte auch Kastor der Leuchtkraftklasse V angehören. Diese Vermutung stimmt mit den Angaben in der Literatur überein [17]. Für Pollux ist eine Leuchtkraftklassifikation mit Spektren dieser Auflösung nicht so einfach möglich. Ferner ist unter den Standardspektren in Abb. 8 nur ein Stern des Spektraltyps K vertreten. Deshalb lässt sich über die Leuchtkraftklasse des Pollux ein ähnlicher Vergleich nicht durchführen. Ein Vergleich mit den Literaturdaten zeigt, dass Pollux zur Leuchtkraftklasse III gehört [19]. Eine Darstellungsmöglichkeit der Leuchtkraft der Sterne (durch die absolute Helligkeit) im Verhältnis zu ihrer Spektralklasse ermöglicht das Hertzsprung- Russel- Diagramm (HRD), das in Abb. 9 dargestellt ist.

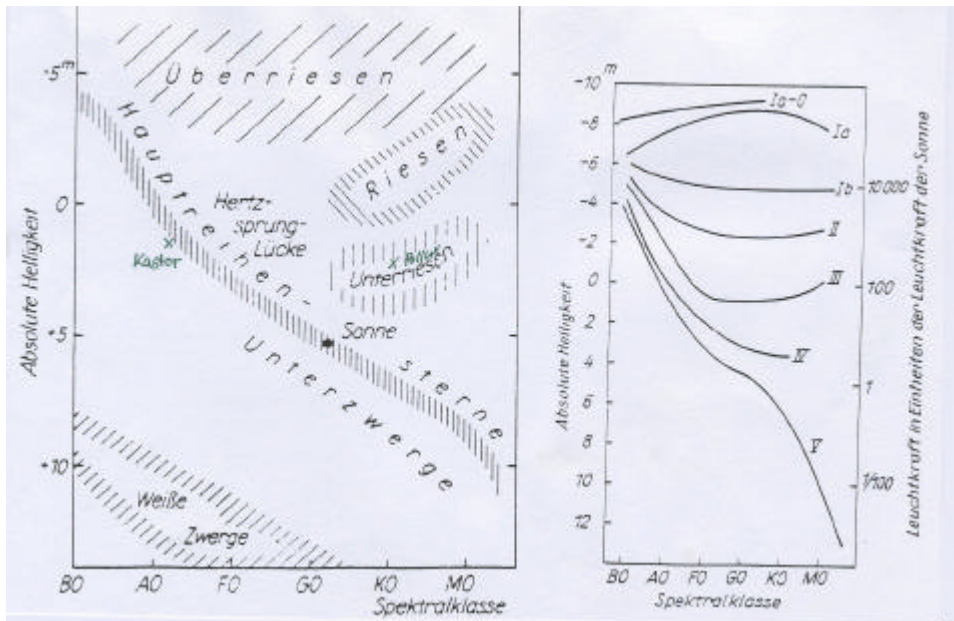


Abb. 9: Schematisches Hertzsprung- Russel- Diagramm [20]

Es hat in der Astronomie eine große Bedeutung erlangt, da sich aus ihm grundlegende Schlüsse in Bezug auf wichtige physikalische Zustandsgrößen und das Entwicklungsstadium der Sterne ziehen lassen. Die Sterne im HRD sind in bestimmte Gebiete („Äste“) aufgeteilt. Die meisten Sterne befinden sich auf einem relativ scharf begrenzten Ast, der von den O-Sternen diagonal bis zu den M-Sternen (absolute Helligkeit von etwa -6^M bis 15^M) reicht. Er wird Hauptreihe oder Zwergenast genannt. Die auf ihm liegenden Hauptreihen- oder Zwergsterne gehören der Leuchtkraftklasse V an (wie z.B. auch die Sonne). Ein zweiter Ast wird hauptsächlich von den kühleren Sternen der Klassen G0 bis M (absolute Helligkeit von ca. 0^M) gebildet. Dieser Ast liegt über dem der Hauptreihe, weil hier die absolute Helligkeit bei gleicher Spektralklasse größer als die der Zwergsterne ist. Die Sterne dieses Astes werden als Riesensterne (Leuchtkraftklasse III) bezeichnet. Es sind Sterne mit großem Durchmesser in einem relativ späten Entwicklungsstadium.

Zwischen dem Riesenast und der Hauptreihe liegt das Gebiet der Unterriesen (Leuchtkraftklasse IV), deren Durchmesser sich zwischen denen der Riesen und denen der Zwerg befindet. In dem Gebiet der Spektralklassen A5 bis G0 in der Verlängerung des Riesenastes, sind nur noch wenige Sterne zu finden. Es wird deshalb Hertzsprung- Lücke genannt. Oberhalb des Riesenastes liegen die Überriesen (Leuchtkraftklasse I) und die hellen Riesen (Leuchtkraftklasse II).

Unterhalb der Hauptreihe bei den mittleren und späten Spektralklassen befinden sich die Unterzwerge. Das Gebiet, das sich 8^M bis 12^M unter der Hauptreihe erstreckt, ist das der Weißen Zwerg. Dies sind Sterne mit sehr geringem Durchmesser und ziemlich hoher Temperatur. Die Lage der beiden „Zwillingssterne“ im HRD ist sehr verschieden. Kastor besitzt die Spektralklasse A1 und eine absolute Helligkeit von $0, M9$ [21]. Demzufolge ist er in der Hauptreihe wieder zu finden, also ein Hauptreihenstern.

Pollux hingegen gehört zur Spektralklasse K0 mit einer absoluten Helligkeit von $1, M1$ [19]. Er gehört zu den Unterriesen mit der Leuchtkraftklasse III. Zur Sichtbarmachung der ungefähren Stellung von Kastor und Pollux im HRD wurden

beide Sterne in Abbildung 11 eingezeichnet. Es wird deutlich, wie wenig Kastor und Pollux bezüglich ihrer Spektral- und Leuchtkraftklassen „Zwillingen“ gleichen.

4. Ausblick

Die zwischen Kastor und Pollux mittels der vorgestellten Beobachtungsmethoden festgestellten Unterschiede sind beispielhaft und keineswegs vollständig. Weiterführende Beobachtungen könnten z. B. sein:

- Aufnahme von Spektren mit größerer Auftrennung der Wellenlängenbereiche und exakter Bestimmung von Lage und Intensität der Linien, mit dem Ziel einer genaueren Bestimmung der physikalischen Zustandsgrößen
- Fotometrie der Sterne mit engbandigen Filtern und Bestimmung der fotografischen Helligkeiten in verschiedenen Bereichen des sichtbaren Spektrums (Ermittlung von Farbindices) [22].

Diese Beobachtungen würden jedoch anspruchsvolle instrumentelle Ausrüstungen erfordern, die zur Bearbeitung des Themas im Rahmen dieser Facharbeit nicht zur Verfügung standen.

5. Zusammenfassung

Entsprechend der Zielstellung der Arbeit sollte mit einfachen astrophysikalischen Beobachtungsmethoden festgestellt werden, ob die Bezeichnung „Zwillinge“ für die beiden Hauptsterne Kastor und Pollux gerechtfertigt ist. Das von beiden Sternen ausgesendete Licht wurde durch visuelle Beobachtungen mit und ohne Fernrohr, durch fotografische Beobachtungen der Sternspuren sowie durch spektrografische Beobachtungen mit einem fotografischen Film als Strahlungsempfänger beobachtet. Alle vier Beobachtungsmethoden zeigten deutliche Unterschiede zwischen Kastor und Pollux auf. So wurden durch visuelle Beobachtungen mit und ohne Fernrohr sowie durch die Sternspuraufnahmen unterschiedliche Färbungen der beiden Sterne festgestellt, die auf eine unterschiedliche Oberflächentemperatur hinweisen. Diese liegt bei dem weiß erscheinenden Kastor etwa bei 10.000 K, bei dem rötlich-gelb erscheinenden Pollux hingegen nur bei etwa 4500 K.

Die spektrografischen Beobachtungen zeigten darüber hinaus, dass Kastor aufgrund des Vergleiches seines Spektrums mit Standardsternen in die Spektralklasse A und in die Leuchtkraftklasse V (Hauptreihenstern) eingeordnet werden kann. Die spektralen Merkmale des Pollux entsprechen denen von Sternen der Spektralklasse K. Eine eindeutige Zuweisung der Leuchtkraftklasse ist für Pollux mit derartig niedrig aufgelösten Spektren nicht möglich. Der Literatur ist jedoch zu entnehmen, dass Pollux zu den Riesensternen der Leuchtkraftklasse III gehört.

Durch visuelle Beobachtungen beider Sterne im Fernrohr konnte Kastor ab einer etwa 100-fachen Vergrößerung eindeutig als Doppelstern mit etwa zwei gleich hellen Komponenten beobachtet werden, während Pollux bei allen benutzten Vergrößerungen als Einzelstern sichtbar war.

Die durchgeführten Beobachtungen belegen, dass die Bezeichnung „Zwillinge“ für die beiden Hauptsterne des gleichnamigen Sternbildes aus astrophysikalischer Sicht **nicht** gerechtfertigt ist, weil sich beide Sterne in wichtigen Zustandsgrößen deutlich unterscheiden. Informationen über solche wichtigen, einen Stern charakterisierenden Größen wie Temperatur, Leuchtkraft und Schwerebeschleunigung sind für die beiden Sterne nicht vergleichbar.

nigung, aber auch hinsichtlich von Besonderheiten in der chemischen Zusammensetzung, sind zumindest prinzipiell auch schon mit Hilfe einfacher Beobachtungen des Sternenlichtes zugänglich.

Literatur:

- [1] Weigert, A.; Zimmermann, H.: Brockhaus ABC Astronomie
VEB F.A. Brockhaus Verlag, Leipzig 1977, S.413
- [2] Lindner, K.: Der Sternhimmel. Urania- Verlag, Leipzig, Jena und Berlin 1975
- [3] Lindner, K.: Astronomie selbst erlebt. Urania- Verlag, Leipzig, Jena und Berlin 1973
- [4] Weigert, A. und Zimmermann, H.: Brockhaus ABC Astronomie
VEB F.A. Brockhaus Verlag, Leipzig 1977, S. 106
- [5] Weigert, A. und Zimmermann, H.: Brockhaus ABC Astronomie.
VEB F.A. Brockhaus Verlag, Leipzig 1977, S. 388
- [6] Lindner, K.: Astronomie selbst erlebt. Urania- Verlag, Leipzig, Jena und Berlin 1973, S. 133
- [7] Lindner, K.: Der Sternhimmel. Urania- Verlag, Leipzig und Jena und Berlin 2. Auflage 1975, S. 26
- [8] Weigert, A. und Zimmermann, H.: Brockhaus ABC Astronomie. VEB F.A. Brockhaus Verlag, Leipzig 1977, S. 124 ff.
- [9] ebenda S. 293 und 5
- [10] Sanford, J.: Der neue Kosmos-Sternatlas. Franckh- Kosmos Verlags-GmbH & Co., Stuttgart 1990, S. 97
- [11] Weigert, A. und Zimmermann, H.: Brockhaus ABC Astronomie.
VEB F.A. Brockhaus Verlag, Leipzig 1977, S. 58 ff.
- [12] Sanford, J.: Der neue Kosmos-Sternatlas. Franckh- Kosmos Verlags-GmbH & Co., Stuttgart 1990, S. 97
- [13] www.enzyklop.info/glossNFZ.html
- [14] Weigert, . A. und Zimmermann, H.: brockhaus abc astronomie. VEB F.A. Brockhaus Verlag, Leipzig 1977, S. 50 bzw. S. 293
- (15) [vgl. Kaler, James B.: Sterne Die physikalische Welt der kosmischen Sonnen. Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg, Berlin 2000, S. 102]
- [16] Weigert, . A. und Zimmermann, H.: brockhaus abc astronomie. VEB F.A. Brockhaus Verlag, Leipzig 1977, S. 378ff
- [17] Weigert, . A. und Zimmermann, H.: brockhaus abc astronomie. VEB F.A. Brockhaus Verlag, Leipzig 1977, S. 378ff.
- [18] Weigert, . A. und Zimmermann, H.: brockhaus abc astronomie. VEB F.A. Brockhaus Verlag, Leipzig 1977, S. 472 bzw. S. 57.
- [19] Weigert, . A. und Zimmermann, H.: brockhaus abc astronomie. VEB F.A. Brockhaus Verlag, Leipzig 1977, S. 293.
- [20] Weigert, . A. und Zimmermann, H.: brockhaus abc astronomie. VEB F.A. Brockhaus Verlag, Leipzig 1977, S. 129 und 205.
- [21] Ahnert, P., Kleine praktische Astronomie. Johann Ambrosius Barth, Leipzig 1974, S.118.
- [22] Weigert, . A. und Zimmermann, H.: brockhaus abc astronomie. VEB F.A. Brockhaus Verlag, Leipzig 1977, S. 103.