

Doppelsternen auf der Spur

Ein kleines Fernrohr zeigt den Stern Mizar im Großen Bären doppelt, bestehend aus den Komponenten Mizar A und B. Doch selbst ein Blick durch die größten Teleskope lässt nicht erahnen, dass sich hinter Mizar A wiederum zwei Sterne verbergen. Sie verraten sich erst, wenn man das Licht von Mizar A in Spektralfarben zerlegt. Dies gelingt bereits mit Amateurmitteln – selbst die Bahnen der Komponenten lassen sich bestimmen.

Von Lothar Schanne

Sterne, die am Nachthimmel nahe beieinander stehen, erscheinen uns oft als Doppelsterne. Viele dieser Sterne befinden sich jedoch nur zufällig in derselben Richtung und haben sonst nichts miteinander zu tun. Echte Doppelsterne stehen dagegen auch räumlich nahe beisammen und sind durch die Schwerkraft aneinander gebunden. Ein berühmtes Beispiel für ein solches System ist der 78 Lichtjahre entfernte Doppelstern Mizar im Sternbild Großer Bär (siehe Bilder rechts). Seine Komponenten Mizar A und B bewegen sich den keplerschen Gesetzen entsprechend auf elliptischen Bahnen um den gemeinsamen Schwerpunkt des Systems.

Die Entdeckung, dass Mizar kein Einzelstern ist, wird oft dem italienischen Astronomen Giovanni Battista Riccioli (1598–1671) zugeschrieben, der ihn im Jahr 1650 als Doppelstern beschrieb. Historische Forschungen deuten jedoch darauf hin, dass der italienische Mathe-

matiker Benedetto Castelli (1578 – 1643) Mizar bereits im Jahr 1617 als Doppelstern erkannte. Rund zwei Jahrhunderte später, anno 1857, hielt der US-amerikanische Astronom George Phillips Bond (1825–1865) am Harvard College Observatory Mizar erstmals fotografisch im Bild fest.

Der Winkelabstand zwischen Mizar A und B beträgt 14,4 Bogensekunden, so dass sich diese Komponenten bereits mit einem kleinen Teleskop getrennt erkennen lassen. Anders verhält es sich bei Doppelsternsystemen, die sehr weit von uns entfernt sind oder bei denen die beiden Komponenten räumlich sehr nahe beieinander stehen. In diesen Fällen lässt sich das Paar selbst mit den größten Teleskopen nicht mehr getrennt erkennen. Auch hierfür bietet Mizar ein eindrucksvolles Beispiel: Im Jahr 1889 erkannte der US-amerikanische Astronom Edward Charles Pickering (1846–1919), dass die Komponente Mizar A in Wahrheit aus zwei Sternen besteht. Dabei nutzte der

Forscher eine damals noch neue Beobachtungsmethode, die Spektroskopie.

Bei dieser Technik kommen Spektrografen zum Einsatz, spezielle Instrumente, die das Sternlicht in seine einzelnen Farbanteile, die Spektralfarben, zerlegen. Das so gewonnene Spektrum lässt sich mit einer Kamera aufnehmen. Die wiederholte Beobachtung und Auswertung solcher Spektren ermöglicht Aussagen über die Bewegung der Komponenten eines engen Doppelsternsystems, die bei direkter Betrachtung durch ein Teleskop nicht möglich wären.

Die Botschaft im zerlegten Licht

Dass sich hinter weißlich, rötlich, gelblich oder sogar bläulich erscheinendem Sternlicht tatsächlich eine Palette unterschiedlichster Farben verbirgt, zeigt uns ein Regenbogen. Die Regentropfen wirken wie ein Spektrograf und spalten das Sonnenlicht in seine Spektralfarben auf. Da es sich bei Licht um elektromagnetische

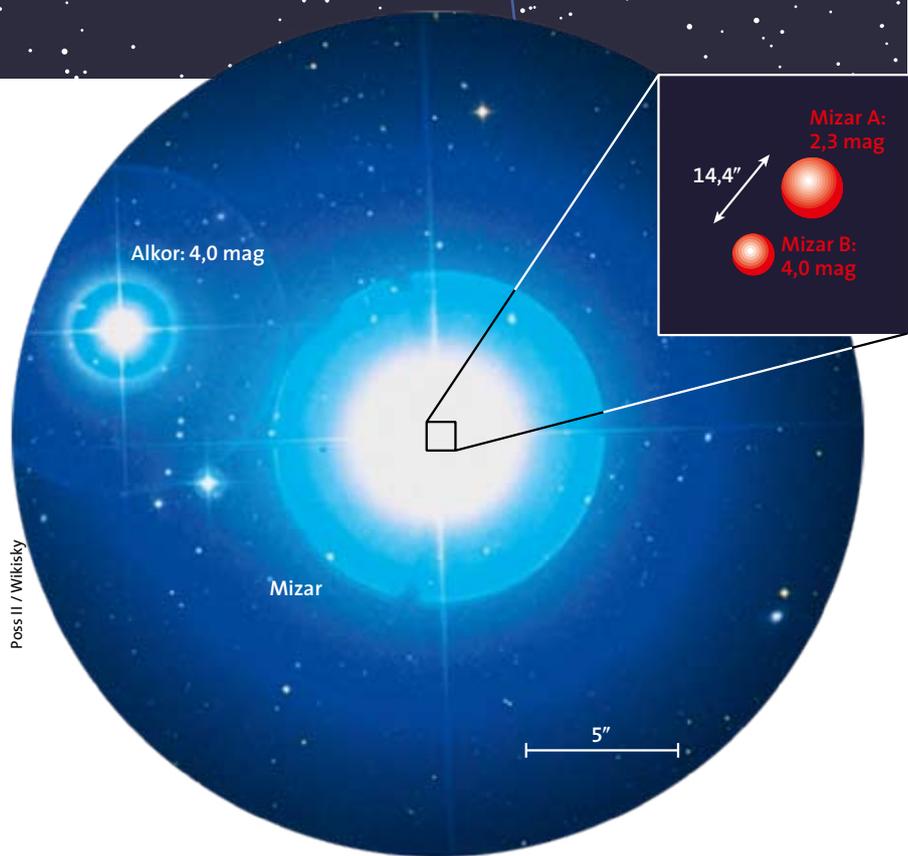


SuW-Grafik

Mizar ist einer der Deichselsterne des Großen Wagens. Rund zwölf Bogenminuten nordöstlich von ihm befindet sich der leuchtschwächere Stern Alkor. Betrachtet man Mizar durch ein Teleskop, so lassen sich zwei dicht nebeneinander stehende Komponenten erkennen, Mizar A und B. Sie bilden ein Doppelsternsystem.

Wellen handelt, lässt sich jeder Farbe eine ganz bestimmte Wellenlänge zuordnen. Rotes Licht hat eine größere Wellenlänge als blaues Licht.

Das mit Hilfe eines Spektrografen aufgespaltene Sternlicht wird in eine Kamera weitergeleitet, die das Spektrum des beobachteten Sterns aufnimmt. Die damit erhaltenen Spektren von Einzelsternen offenbaren nicht nur die Spektralfarben des Lichts, sondern auch eine Vielzahl dunkler Linien, die so genannten Absorptionslinien. Sie entstehen dadurch, dass Atome in den äußeren Schichten der Sterne einen Teil des von innen kommenden, durch Kernfusion erzeugten Lichts verschlucken. Da die Atome aber nur Licht solcher Wellenlängen absorbieren, die für das chemische Element charakteristisch sind, befinden sich die dunklen Absorptionslinien in den Sternspektren an klar definierten Stellen: Bei diesen Wellenlängen scheinen die zugehörigen Spektralfarben im Spektrum zu fehlen. Dies gilt



W I S wissenschaft in die schulen!

Damit Schüler aktiv mit den Inhalten dieses Beitrags arbeiten können, stehen auf unserer Internetseite

www.wissenschaft-schulen.de didaktische Materialien zur freien Verfügung. Darin wird gezeigt, wie das Thema des Beitrags im Rahmen des Physikunterrichts in der gymnasialen Oberstufe behandelt werden kann. Unser Projekt »Wissenschaft in die Schulen!« führen wir in Zusammenarbeit mit der Landesakademie für Lehrerfortbildung in Bad Wildbad und dem Haus der Astronomie in Heidelberg durch.

Tanzende Linien in Doppelsternspektren

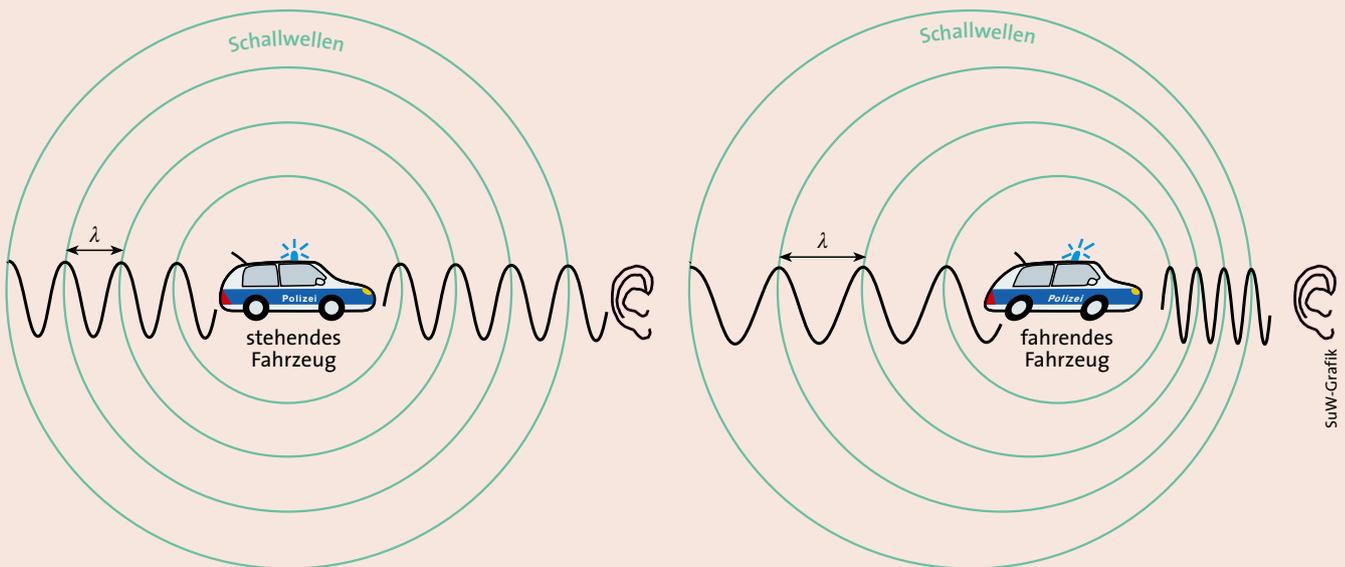
In einem Doppelsternsystem umkreisen zwei Sterne einen gemeinsamen Schwerpunkt. Dabei bewegt sich jede der beiden Komponenten abwechselnd auf den Beobachter zu und von ihm weg. Ist das Doppelsternsystem so eng, dass ein Beobachter die Komponenten nicht mehr getrennt erkennen kann, dann überlagern sich die Spektren der beiden Sterne zu einem gemeinsamen Spektrum. Die darin sichtbaren dunklen Linien scheinen während einer vollen Umlaufperiode hin- und herzutanzten: Sie pendeln im Rhythmus der Bahnbewegung der beiden Sternkomponenten um eine mittlere Wellenlänge. Die Ursache hierfür ist die Wellennatur des Lichts in Verbindung mit dem Dopplereffekt.

Im Alltag lässt sich der Dopplereffekt anhand von Schallwellen wahrnehmen: Vermutlich hat fast jeder schon einmal gehört, dass sich der Signalton eines vorüberfahrenden Polizei- oder Feuerwehrautos verändert. Nähert sich das Fahrzeug an, so klingt der Signalton höher, entfernt es sich wieder, so klingt der Ton tiefer (siehe Bilder unten).

In ähnlicher Weise, wie der Dopplereffekt beim Schall die Tonhöhe verändert, so verändert er beim Licht die Farbe. Bewegt sich ein Stern auf einen Beobachter zu, so erscheinen ihm die

Lichtwellen in Richtung der Sichtlinie etwas gestaucht. Dadurch verkleinert sich die Lichtwellenlänge, und die Farbe des beim Beobachter eintreffenden Lichts verändert sich. Man sagt, die Lichtwelle sei blauverschoben, weil sich ihre Wellenlänge zu kürzeren Wellenlängen und damit zum blauen Ende des Spektrums hin verschiebt. Entfernt sich der Stern dagegen vom Beobachter, so erscheinen ihm die Lichtwellen gestreckt und somit rotverschoben. Die Bildfolge rechts veranschaulicht, wie sich die Bewegung der Doppelsternkomponenten auf das beobachtete Linienspektrum auswirkt. Als Beispiel betrachten wir hier eine Absorptionslinie im roten Bereich des Spektrums.

Das Signalhorn eines stehenden Fahrzeugs erzeugt Schallwellen mit einer bestimmten Wellenlänge λ (lambda), die sich nach allen Seiten gleichmäßig ausbreiten (Bild links). Nähert sich das Fahrzeug dem Beobachter, so werden die Schallwellen in Fahrtrichtung etwas verkürzt (Bild rechts). Dadurch wird der Ton des Signalhorns höher. Entfernt sich das Fahrzeug, so vergrößert sich die Wellenlänge und der Ton des Signalhorns klingt tiefer.



auch dann, wenn der Beobachter mehrere Spektren eines Sterns vergleicht, die er zu ganz unterschiedlichen Zeitpunkten aufgenommen hat. In jedem dieser Spektren finden sich die dunklen Linien stets an denselben Stellen.

Bei sehr engen Doppelsternsystemen wie Mizar A lassen sich die Einzelsterne nicht mehr getrennt erkennen. Hier überlagern sich die Spektren der Komponenten zu einem gemeinsamen Doppelsternspektrum. Darin zeigen sich ebenfalls Absorptionslinien. Beobachtet man Mizar A über längere Zeiträume hinweg mit einem Spektrografen und vergleicht die gewonnenen Spektren miteinander, dann

ergibt sich jedoch etwas völlig anderes: Die Absorptionslinien spalten sich zu bestimmten Zeiten in jeweils zwei Linien auf. Diese verschieben sich gegengleich zum blauen beziehungsweise zum roten Ende des Spektrums hin und kehren ihre Bewegungsrichtung zu einem bestimmten Zeitpunkt wieder um. Danach vereinigen sie sich schließlich wieder zu einer einzigen Absorptionslinie, und anschließend beginnt das Spiel von vorne. Der Grund für diese periodische Verschiebung der Linien ist der Dopplereffekt, der aufgrund der Bahnbewegung der beiden Komponenten um das gemeinsame Massenzentrum entsteht (siehe Infokasten oben).

Da die beiden Sterne ihren gemeinsamen Massenmittelpunkt beständig mit derselben Umlaufdauer umkreisen, ist die Aufspaltung und Verschiebung der Absorptionslinien in Doppelsternspektren ein periodischer Vorgang. Sternsysteme, die sich nur mit Hilfe derartiger Beobachtungen als doppelt identifizieren lassen, heißen spektroskopische Doppelsterne.

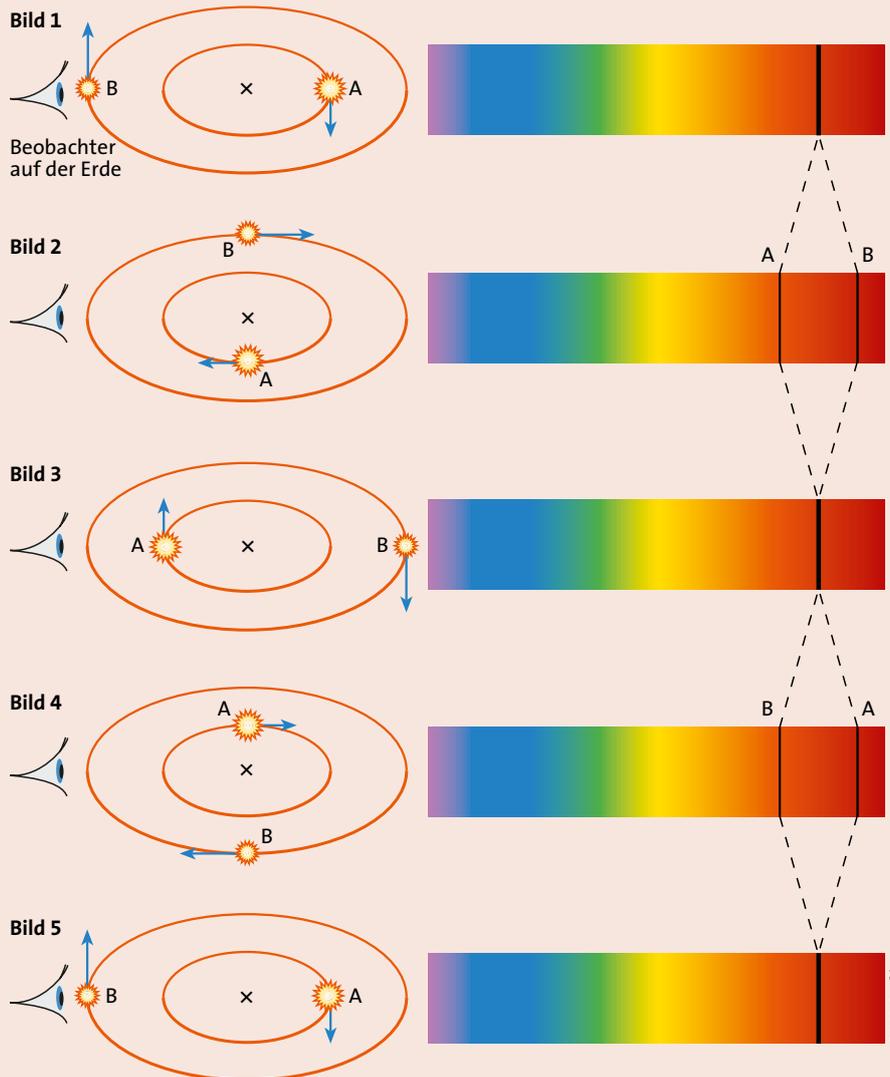
Die für die Sternspektroskopie erforderlichen Instrumente und Auswertungsmethoden sind heute längst nicht mehr den Fachastronomen vorbehalten. Auch unter Amateurastronomen erfreut sich die Spektroskopie zunehmender Beliebtheit. Bereits im Jahr 2005 baute ich mei-

Da die beiden Sterne den Schwerpunkt des Systems gegengleich umlaufen, bewegen sie sich zeitweise einmal auf einen Beobachter auf der Erde zu und dann wieder von ihm weg. Erreichen die Sterne diejenigen Punkte ihrer Umlaufbahnen, an denen sie sich senkrecht zur Blickrichtung bewegen, ist keine Sternbewegung auf den Beobachter zu oder von ihm weg festzustellen (siehe Bilder 1, 3 und 5). In diesem Fall befindet sich die beobachtete Spektrallinie bei ihrer normalen Wellenlänge und zeigt keinerlei Besonderheiten.

Sobald die Sterne diese Positionen durchlaufen haben, beginnt eine Komponente sich auf den Beobachter zuzubewegen, während sich die andere Komponente von ihm entfernt. Nun spaltet sich die Absorptionslinie in zwei Linien auf: Eine dieser Linien wandert zu kürzeren Wellenlängen, also in Richtung des blauen Endes des Spektrums, sie ist blauverschoben. Die andere Linie wandert hingegen zu größeren Wellenlängen und ist somit rotverschoben.

Der Abstand zwischen den beiden Linien wird maximal, wenn einer der beiden Sterne direkt auf den Beobachter zukommt, während sich der andere in direkter Linie von ihm entfernt (siehe Bilder 2 und 4). Dann lässt sich keine Sternbewegung mehr senkrecht zur Blickrichtung des Beobachters feststellen.

Die Beobachtung der tanzenden Linien über einen längeren Zeitraum hinweg und die daraus abgeleiteten Geschwindigkeiten ermöglichen es, Aussagen über die Bahnen der Sterne zu gewinnen.



Die Bewegung zweier Sterne A und B eines Doppelsternsystems führt infolge des Dopplereffekts zu einer periodischen Aufspaltung und Verschiebung der im Spektrum sichtbaren Linien. Eine Bewegung auf den Beobachter zu entspricht einer Blauverschiebung der Linien, eine Bewegung von ihm weg einer Rotverschiebung.

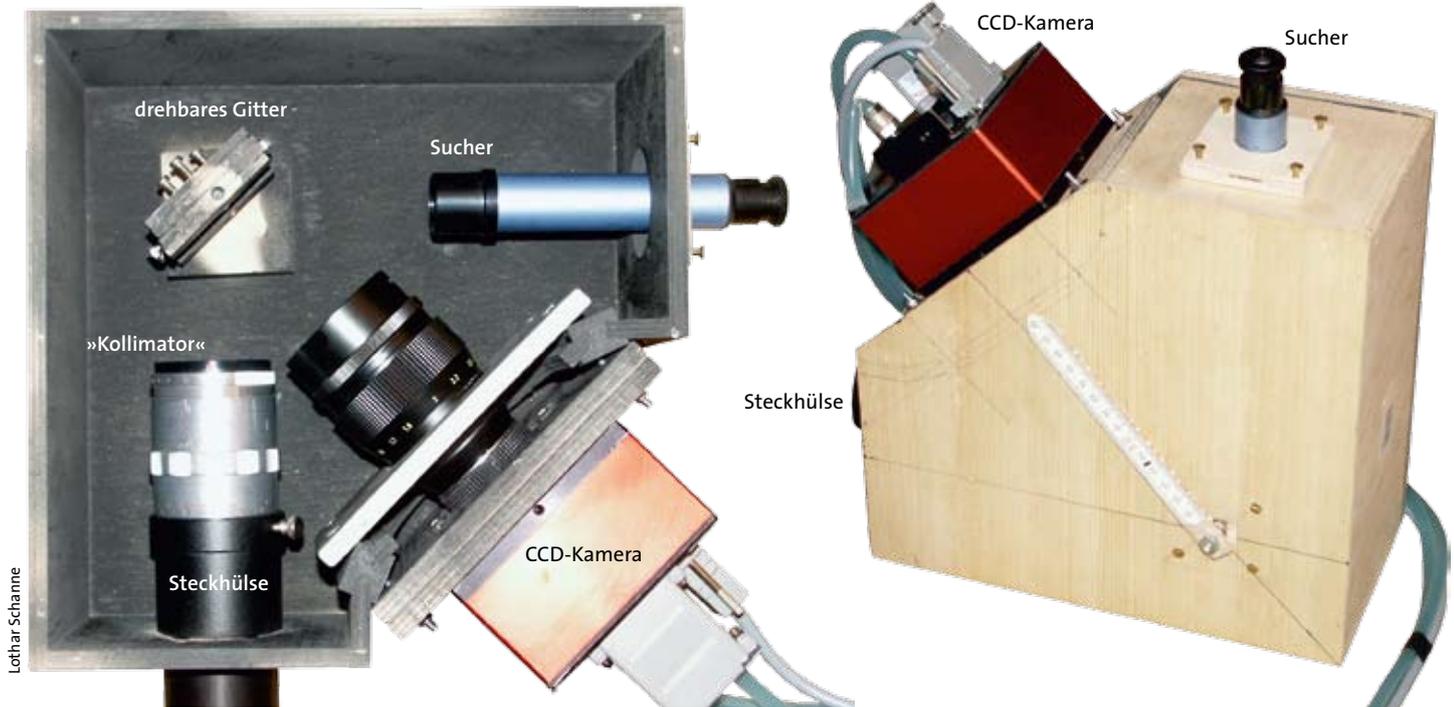
nen ersten Spektrografen und beobachtete damit erfolgreich Sternspektren. Mit diesem Gerät wollte ich nun versuchen, Spektren von Mizar A aufzunehmen und daraus Aussagen über die Bahnen seiner Sternkomponenten zu gewinnen.

Farbenspiel in der »Mäusevilla«

Mein selbst gebauter Spektrograf lässt sich an ein Teleskop anschließen und ermöglicht es, Sternspektren mit einer CCD-Kamera aufzunehmen (siehe Bilder auf Seite 72). Das Gehäuse des Geräts besteht aus verleimtem Sperrholz und wird in Tierhandlungen als Unterschlupf für Kleinnagetiere für rund 14 Euro ver-

kauft. Deshalb gab ich diesem Gerät den Spitznamen »Mäusevilla«. Eine schwarze Steckhülse, die ein Stück weit aus dem Holzkasten herausragt, ist zum Anschließen des Spektrografen an das Teleskop vorgesehen. Am anderen Ende der Hülse, das sich innerhalb des Gehäuses befindet, habe ich ein 130-Millimeter-Fotoobjektiv eingeklemmt. Dieses fungiert als »Kollimator«, um das aus dem Teleskop kegelförmig austretende Sternlicht in ein Bündel paralleler Lichtstrahlen umzuwandeln. Dadurch wird gewährleistet, dass das Lichtbündel das Beugungsgitter, welches das Licht in seine Spektralfarben zerlegt, gleichmäßig ausleuchtet.

Das Gitter lässt sich mit sechs Einstellschrauben in zwei Ebenen justieren. Es reflektiert einen Teil des einfallenden Lichts in Richtung eines am Gehäuse angebrachten Suchers. Der Sucher ermöglicht es mir, den Himmel und seine Sterne direkt mit dem Auge zu betrachten und somit das gewünschte Objekt bequem zu finden und im Gesichtsfeld des Teleskops zu zentrieren. Das Gitter ist drehbar gelagert und lässt sich so orientieren, dass nur Licht bestimmter Wellenlängen in die Kamera fällt. Alslichtsammelnde Optik nutze ich ein weiteres 130-Millimeter-Fotoobjektiv, das an eine gekühlte CCD-Kamera geschraubt ist. Der selbst gebaute



Ein Blick in die »Mäusevilla« zeigt den Aufbau dieses Spektrografen (links). Die schwarze Steckhülse links unten dient als Anschluss für das Teleskop sowie als Halterung für ein 130-Millimeter-Fotoobjektiv, den »Kollimator«. Links oben befindet sich ein drehbares Gitter. Der Sucher steckt im Gehäuse oben rechts. Das schwarze 130-Millimeter-Fotoobjektiv rechts unten fungiert als Objektiv für eine CCD-Kamera (rot). Das Bild rechts zeigt den Spektrografen von außen mit Sucher (oben rechts), CCD-Kamera (schräge Seite links) und Steckhülse (unten links).

Spektrograf kostete mich rund 120 Euro, hinzu kamen nur die Kosten für eine CCD-Kamera, wie sie unter Amateurastronomen weit verbreitet ist. Somit muss die Spektroskopie kein teures Hobby sein.

Spektroskopie – mit oder ohne Spalt?

Spektrografen wie die »Mäusevilla« ermöglichen es Amateurastronomen, auf einfache Weise Sternspektren zu gewinnen. Im Unterschied dazu verwenden Fachastronomen in der Regel einen anderen Gerätetypus, den Spaltspektrografen. Bei diesen Instrumenten muss das Sternlicht nach dem Durchgang durch das Teleskop einen extrem schmalen Spalt passieren, bevor es in den Spektrografen gelangt und dort zerlegt wird. Die verwendeten Spalte mit Breiten von einigen zehn bis mehreren hundert Mikrometern bilden

Spektrallinien sehr scharf ab. Damit lässt sich neben Sternlicht auch das Licht einer »Kalibrationslampe« spektroskopieren. Solche Lampen sind mit speziellen Gasen gefüllt und erzeugen Licht mit Spektrallinien, deren Wellenlängen aus Laboruntersuchungen genau bekannt sind. Diese Linien lassen sich dazu nutzen, um die Wellenlängen von Absorptionslinien in Sternspektren sehr genau zu bestimmen.

Bei Doppelsternen lassen sich die Radialgeschwindigkeiten mit Hilfe der Rot- beziehungsweise Blauverschiebung der aufgespaltenen Linienkomponenten ermitteln. Dazu sucht man im Doppelsternspektrum diejenige Stelle, an der sich die verschobene Linie befindet, und ermittelt den entsprechenden Wert für die Wellenlänge. Anschließend sucht man nach der Position, an der sich die betrachtete nicht aufgespaltene und daher unverschobene Absorptionslinie befindet, und ermittelt ebenfalls die zugehörige Wellenlänge. Aus der Differenz zwischen der Wellenlänge der unverschobenen Absorptionslinie und der verschobenen Linienkomponente ergibt sich die Linienverschiebung in Einheiten der Wellenlänge. Legt der Beobachter hierbei die Einheit Nanometer zugrunde, so erhält er als Ergebnis für die gemessene Linienverschiebung automatisch einen Wert in Nanometern oder in Bruchteilen davon. Weist das Ergebnis ein negatives Vorzeichen auf, so ist die betrachtete Linienkomponente blauverschoben, bei positivem Vorzeichen rotverschoben.

Aus den gemessenen Linienverschiebungen ergeben sich die zugehörigen Radialgeschwindigkeiten mit Hilfe einer einfachen Formel. Liegen diese Daten für viele Punkte der Umlaufbahnen von Doppelsternkomponenten vor, so lassen sich damit weitere Bahnparameter wie die Umlaufzeit der Komponenten ableiten. Diese Parameter beschreiben sowohl die Größe und Form als auch die Lage der Umlaufbahnen von Doppelsternkomponenten im Weltraum (siehe Infokasten rechts). Die entsprechenden Berechnungen sind umfangreich und kompliziert. Sie erfordern numerische Rechenverfahren, die sich mit Computern durchführen lassen.

Die Bestimmung von Radialgeschwindigkeiten und damit von Doppelsternparametern ist mit Spaltspektrografen zwar ohne Weiteres möglich, aber diese Geräte haben auch Nachteile. So lässt sich nur jenes Licht für eine Messung verwenden, das auch tatsächlich durch den extrem dünnen Spalt hindurch in das Innere des Spektrografen gelangt. Eine wesentliche Menge des Gesamtlichts geht am Spalt automatisch verloren. Eine erfolgreiche Beobachtung erfordert von vornherein sehr viel Sternlicht. Zudem muss der Beobachter durch eine genaue Nachführung sicherstellen, dass das Sternlicht während der gesamten Beobachtungszeit genau auf den Spalt fällt, denn nur so gelangt Licht in den Spektrografen hinein.

Mit den Instrumenten der Profiastronomen ist das in der Regel kein Problem, für Amateurastronomen kann das jedoch

aufgrund der bescheideneren instrumentellen Ausstattung mit weniger robust gebauten Geräten und wegen Problemen mit der mechanischen Nachführung des Teleskops sehr schwierig sein. Daher verwenden Hobby-Astronomen häufig Spektrografen ohne Spalt.

Nun stellte ich mir die Frage, ob ein Amateur, der »nur« über einen spaltlosen Spektrografen verfügt, Radialgeschwindigkeiten ähnlich genau messen kann wie die professionellen Forscher. Das Problem beim spaltlosen Spektroskopieren besteht darin, dass sich keine scharfe Abbildung ergibt. Anstelle des Spalts wäre eine andere Fokussierungseinrichtung erforderlich, die aber neue Schwierigkeiten mit sich bringen würde. Literatur zu diesem Thema habe ich nicht gefunden. Ist das Thema somit für einen spaltlos spektroskopierenden Amateurastronomen tabu?

Die Spektroskopie mit spaltlosen Spektrografen funktioniert bei Sternen tatsächlich. Der Grund dafür ist, dass die Sterne als punktförmige Lichtquellen erscheinen. Somit lassen sich die Spektren scharf abbilden. Da jedoch Kalibrationslampen im Gegensatz zu Sternen hinsichtlich ihres Abstrahlungsverhaltens weit von Punktquellen entfernt sind, lassen sich keine Vergleichsspektren erzeugen. Folglich lassen sich in den spaltlos gewonnenen Sternspektren auch keine exakten Linienspositionen messen. Solche Messungen wären jedoch die Voraussetzung für die Berechnung von Radialgeschwindigkeiten. Das Problem einer zweifelsfreien Zuordnung von Wellenlängen bleibt also erhalten.

Doch hier hilft ein Trick: Um die Stärke der Linienaufspaltung zu ermitteln, genügt es, den Abstand der beiden Linien anhand ihrer Lage auf dem CCD-Chip der Kamera zu bestimmen. Da der Strahlengang des Lichts innerhalb des Spektrografen und der Kamera bekannt ist, weiß der Beobachter auch, in welcher Weise das zerlegte Licht auf dem CCD-Chip abgebildet wird. Aus dieser Information und mit dem zuvor ermittelten Abstand der Linienkomponenten auf dem Chip lässt sich schließlich die Linienaufspaltung in Einheiten der Wellenlänge ableiten. Diese Aufspaltung stellt nichts anderes dar als die Differenz der Radialgeschwindigkeiten der beiden Doppelsternkomponenten. Mit dieser Methode versuchte ich, die Radialgeschwindigkeiten der Komponenten von Mizar A zu bestimmen.

Von der Bahn am Himmel zur Bahn im Raum

Die Komponenten eines Doppelsternsystems umlaufen ein gemeinsames Massenzentrum auf elliptischen Bahnen. Die genaue Form der Umlaufbahn einer Doppelsternkomponente und ihre Orientierung im Raum lassen sich mit sieben Größen exakt beschreiben, den so genannten Bahnparametern oder Bahnelementen.

Vier dieser Bahnparameter legen die Größe und Form einer Sternbahn fest:

Die **Bahnperiode P** ist die Umlaufdauer eines Sterns um das Schwerezentrum. Sie ist für beide Doppelsternkomponenten gleich groß.

Die **Exzentrizität e** der Bahnellipse ist ein Maß dafür, wie stark die Bahnform von einem Kreis abweicht. Für einen Kreis ist ($e = 0$), für eine Ellipse liegt e zwischen 0 und 1.

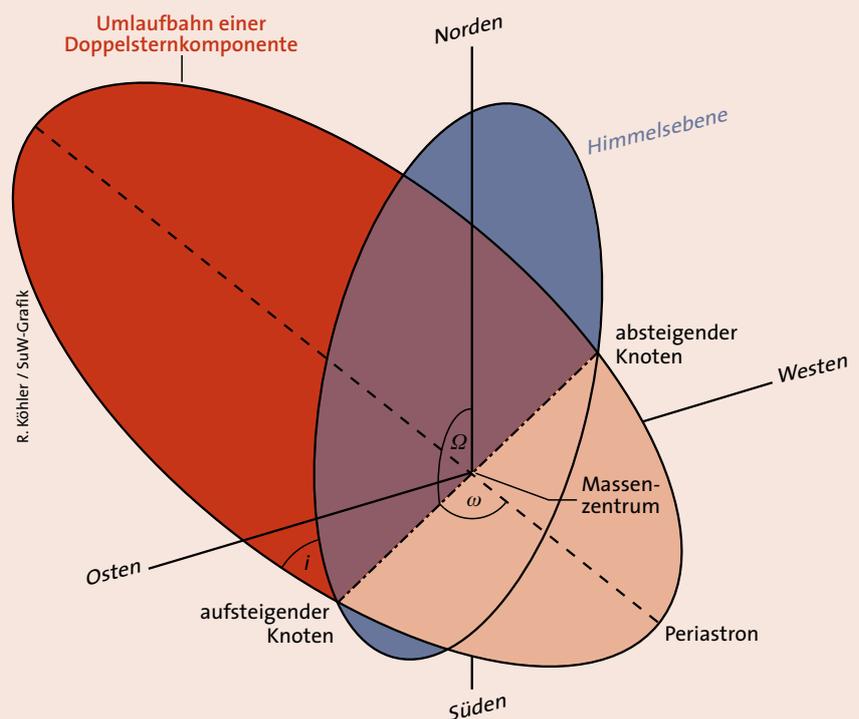
Zum Zeitpunkt T_0 befindet sich der Stern an dem Ort seiner Umlaufbahn, der dem Massenzentrum am nächsten liegt. Dieser Bahnpunkt heißt Periastron.

Die **große Halbachse a** ist ein Maß für die Größe der Umlaufbahn. Darunter versteht man die halbe Länge der Hauptachse einer Ellipse. Diese ist definiert als die Verbindungslinie der beiden am weitesten voneinander entfernt liegenden Punkte der Ellipse.

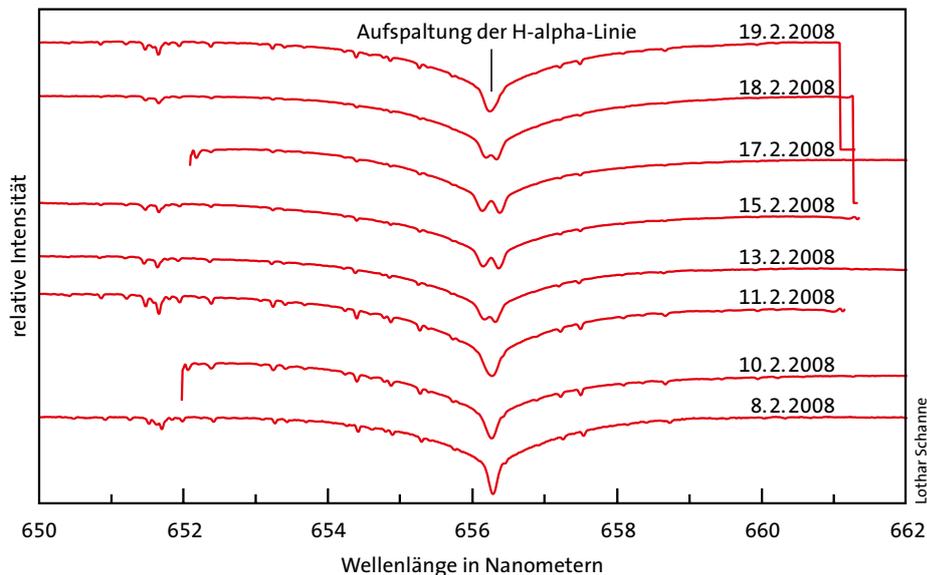
Drei weitere Parameter legen die Orientierung der Sternbahn im Raum fest:

Die **Inklination i** gibt an, wie stark die Bahnebene, in der die Doppelsternkomponente das Schwerezentrum umläuft (rote Fläche), gegen die Himmelsebene (blaue Fläche) geneigt ist. Die Tangentialebene ist eine Fläche, die senkrecht zur Blickrichtung eines Beobachters steht und die Bahnebene der Doppelsternkomponente am Ort der »Knotenlinie« schneidet. Als Knotenlinie bezeichnet man die Verbindungslinie zwischen dem »aufsteigenden Knoten« und den »absteigenden Knoten« der Bahn. In diesen Punkten schneidet die Himmelsebene die Umlaufbahn der Doppelsternkomponente. Die **Periastronlänge ω** gibt die Größe des Winkels zwischen aufsteigendem Knoten und der Richtung des Periastrons an.

Als **Positionswinkel Ω** der Knotenlinie bezeichnet man den Winkel zwischen der Knotenlinie, in der sich Tangential- und Bahnebene schneiden, und der Richtung, in der sich der Himmelsnordpol vom Massenzentrum des Doppelsternsystems aus gesehen befindet. Dieser Winkel wird von Norden in Richtung Osten gemessen.



Die mit der »Mäusevilla« beobachteten Spektren von Mizar A lassen die Aufspaltung der H-alpha-Absorptionslinie des Wasserstoffs bei 656,3 Nanometer gut erkennen. Dargestellt sind die Intensitätsprofile von acht Spektren, die in einem Zeitraum von rund zwei Wochen aufgenommen wurden. Die Aufspaltung der H-alpha-Linie zeigt sich besonders deutlich in den Spektren vom 13., 15., 17. und 18. Februar 2008.



Das enge Paar von Mizar A

Für die Bestimmung der Bahnparameter von Mizar A nahm ich mit meinem Spektrografen in den Jahren 2007 und 2008 in sechzehn Beobachtungsnächten Spektren des Systems auf (siehe Bild oben). Da die Umlaufdauer des Doppelsterns 20,5 Tage beträgt, umfasst der gesamte Beobachtungszeitraum von rund 400 Tagen rund zwanzig Umläufe der beiden Doppelsternkomponenten um den gemeinsamen Schwerpunkt des Systems.

In jedem der beobachteten Spektren betrachtete ich sechs Absorptionslinien. Ich maß die Stärke der Linienaufspaltung, indem ich den Abstand der beiden Linienkomponenten ermittelte. Da diese Aufspaltungen letztlich die Differenzen der Radialgeschwindigkeiten beider Doppelsternkomponenten zum Zeitpunkt der Beobachtung widerspiegeln, konnte ich sie bei der Auswertung in ähnlicher Weise wie »richtige« Radialgeschwindigkeiten verwenden. Dadurch gelang es mir, die Bahnparameter des Doppelsternsystems mit Hilfe eines Computerprogramms hinreichend genau zu bestimmen.

Solche Berechnungen laufen stets nach dem gleichen Schema ab. Der in Tagen

gemessenen Umlaufdauer der Doppelsternkomponenten wird willkürlich das Zahlenintervall von 0,0 bis 1,0 zugeordnet. Diese Zahlen werden als »Bahnphase« bezeichnet. Die Phase 0,0 wählt man üblicherweise so, dass sie dem Zeitpunkt T_0 entspricht, zu dem die Sterne ihr Periastron durchlaufen. Die Phase 1,0 wird einer vollen Bahnperiode des Doppelsternsystems gleichgesetzt. Die Phase 0,25 umfasst folglich ein Viertel, die Phase 0,5 die Hälfte und die Phase 0,75 drei Viertel der Umlaufzeit. Feinere Unterteilungen lassen sich in entsprechender Weise vornehmen.

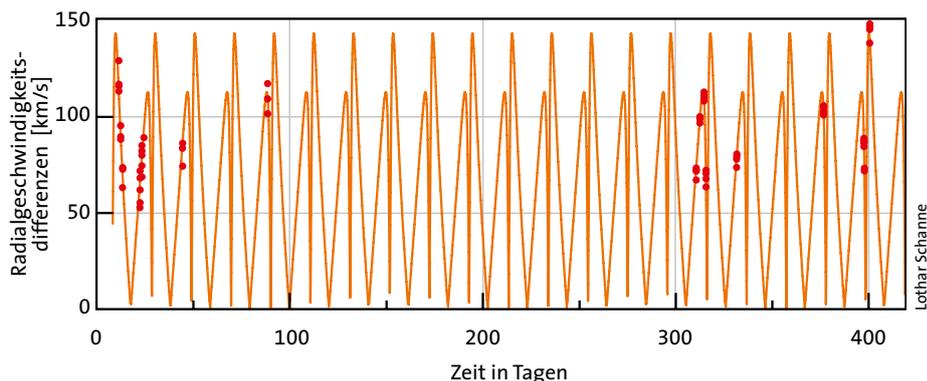
Trägt man Radialgeschwindigkeiten oder wie in meinem Fall Radialgeschwindigkeitsdifferenzen gegen die Phase des Bahnlaufs auf, so ergibt sich die Radialgeschwindigkeitskurve des Doppelsterns. Sie ist der Schlüssel zur Bestimmung der Bahnparameter, da sie sich nicht nur durch Messungen ermitteln lassen, sondern auch mit mathematischen Gleichungen berechnet werden können. Diese Formeln beschreiben den physikalischen Zusammenhang der einzelnen Bahnparameter. Ausgehend von den gemessenen Geschwindigkeitswerten und einem Satz gut ausgewählter Bahnparameter kann

ein Computerprogramm nach einer passenden Geschwindigkeitskurve suchen. Dazu verändert die Rechenroutine die Bahnparameter so lange, bis die berechnete Kurve die Messwerte am besten reproduziert.

Um diese Kurvenberechnung praktisch durchführen zu können, schrieb ich für das Computeralgebra-Programm MuPAD eine Routine, mit der ich interaktiv arbeiten konnte. Ausgehend von Bahnelementen von Mizar A, die ich der Literatur entnommen hatte, und mittels systematischer Variation dieser Parameter suchte ich nach demjenigen Satz von Bahnparametern, der meine Messergebnisse am besten wiedergibt. Die mit diesen Parametern errechnete Radialgeschwindigkeitskurve von Mizar A habe ich für den gesamten Beobachtungszeitraum von vierhundert Tagen als Diagramm dargestellt (siehe Bild unten). Die von mir bestimmten Messwerte sind ebenfalls eingetragen. Es zeigt sich, dass die Kurve und die Messwerte sehr gut zusammenpassen.

In der Tabelle rechts oben vergleiche ich die von mir ermittelten Werte mit Bahnparametern aus der Literatur. Die Übereinstimmung zwischen meinen Er-

Die beiden Komponenten von Mizar A verraten sich durch die doppelten Maxima in der Radialgeschwindigkeitskurve. Das Diagramm zeigt die berechnete Kurve für einen Zeitraum von vierhundert Tagen sowie die aus den Linienaufspaltungen ermittelten Radialgeschwindigkeitsdifferenzen (Punkte). Die Modellkurve stimmt gut mit den Messwerten überein.



Die Bahnparameter von Mizar A		
Bahnparameter	Messergebnis	Literaturwert von A. Budovicová, et al.
Amplitude der Radialgeschwindigkeit	128,1 km/s	134,36 km/s
Periode P	20,53745 Tage	20,53835 Tage
Exzentrizität e	0,528	0,542
Länge des Periastrons ω	103,1 Grad	104,16 Grad
Zeit des Periastrons T_0	JD 2454208,32	JD 2454208,32

Weitere Beobachtungsziele			
Stern	Helligkeit in mag	Spektraltyp	Umlaufdauer in Tagen
α Aur	0,21	G0	104,0
β Aur	2,07	A0p	3,96
σ Leo	3,76	F5, A3	14,45
ω UMa	4,84	A0	15,84
ϵ Her	3,92	A0	4,02
θ Aql	3,37	A0	17,12

gebnissen und den exakteren Werten der Profiastronomen ist im Rahmen einer amateurastronomischen Untersuchung und der einfachen Messung von Linienaufspaltungen befriedigend – besonders im Hinblick auf die vergleichsweise einfache Messmethode.

Weitere spektroskopische Doppelsterne

Meine Erfahrungen mit der spektroskopischen Beobachtung von Mizar A belegen, dass es sich für Amateurspektroskopiker lohnt, mit einem spaltlosen Spektrografen spektroskopische Doppelsterne zu beobachten und ihre Bahnparameter anhand der periodischen Aufspaltung der Absorptionslinien zu bestimmen.

Es gibt unzählige weitere spektroskopische Doppelsterne am Himmel, und viele davon eignen sich für die Beobachtung mit amateurastronomischen Mitteln. Allerdings weichen die Helligkeiten der Doppelsternkomponenten meist stark voneinander ab. In diesen Fällen lassen sich oft nur die Absorptionslinien des helleren der beiden Sterne im Spektrum erkennen. Das beobachtete Spektrum des Systems ähnelt dann dem Spektrum eines

Einzelsterns. Gegenüber solchen Sternsystemen besitzt Mizar A den Vorzug, dass die Komponenten ähnliche Helligkeiten aufweisen. Daher sind ihre Absorptionslinien im beobachteten Doppelsternspektrum gleichermaßen deutlich sichtbar. Somit lässt sich hier sowohl das regelmäßige Aufspalten der Absorptionslinien als auch das zyklische Hin- und Herwandern der Linienkomponenten gut beobachten (siehe Grafik links).

Eine Auswahl weiterer für die amateurastronomische Beobachtung geeigneter spektroskopischer Doppelsterne habe ich in der Tabelle oben rechts zusammengestellt. Bei der Auswahl habe ich darauf geachtet, dass die Sterne eine ausreichende Gesamthelligkeit aufweisen und einem geeigneten Spektraltyp angehören. Letzteres ist wichtig, damit eine genügende Anzahl von beobachtbaren Spektrallinien in den Spektren vorhanden ist.

Bei dem in der Tabelle aufgeführten Stern Beta Aurigae ändern sich die Spektren wegen der kurzen Umlaufperiode der beiden Komponenten innerhalb einer einzigen Nacht. Deshalb und auch wegen seiner Helligkeit eignet sich dieser Stern besonders als Einsteigerobjekt. ☺



Lothar Schanne ist freiberuflich tätiger Chemiker und Ingenieur für Verfahrenstechnik. Seit 2004 beschäftigt er sich intensiv mit der Spektroskopie von Sternen.

Literaturhinweise

Unsöld, A., Baschek, B.: Der Neue Kosmos. Einführung in die Astronomie und Astrophysik. Springer, Heidelberg 1999.

Stober, B.: Der Mizar-Test: Spektroskopie mit selbst gebautem Gitterspektrografen. In: Sterne und Weltraum 6/2005, S. 64 – 68.

Budovicová, A. et al.: Orbital solutions for the A-type binaries α Dra and Mizar A using spectrum disentangling. In: Proceedings of the IAU Symposium No. 224, S. 923 – 927, 2004.

Aitken, R. G.: The Binary Stars, McGraw-Hill Book Company, New York 1935.

Weblinks zum Thema unter www.astronomie-heute.de/artikel/1034383



1990 - 2010
APM
Telescopes

Unser Jubiläumsangebot für 2010



SIRIUS
OBSERVATORIES

Kundenstimmen
„...Gestern haben wir das Wetter genutzt und die Sirius Kuppel aufgebaut. Der Aufbau inkl. Montage des Kuppelantriebs hat mit 5 Leuten 4 Stunden 15 Minuten gedauert :) Von der Innenausstattung abgesehen, fehlt nur noch die Abdichtung der Kuppel und die Montage des Solarpanels. Wir hatten praktisch kein Problem bei der Montage und die Kuppel lässt sich mit dem kleinen Finger rotieren, so leichtgängig ist die Konstruktion. Bisher bin ich also hochzufrieden. Vielen Dank nochmal für die erstklassige Lieferung. (Torsten Dalber, Deutschland).“

Kuppeln: 2,3m mit und ohne Unterbau
 Diese 2,3 Meter Kuppel mit Unterbau ist für ambitionierte Amateure und auch kleine Vereine ideal. Sie kann Instrumente bis hin zu SC- oder RC-Teleskopen mit 14° Öffnung aufnehmen und bietet zwei bis drei Personen gleichzeitig Platz. Kuppeldrehung und Kuppeltore sind nicht motorisiert, können aber bei Bedarf optional motorisiert werden.
 alter Preis: 7.474,00€ **neuer Preis: 5.857,00€***

Für den Fall, dass Sie schon über einen entsprechenden Unterbau verfügen, bieten wir auch Kuppeln ohne Unterbau an. Die Kuppel wird ganz einfach mittels eines Befestigungsringes auf dem bereits vorhandenen Unterbau befestigt. Kuppeldrehung und Kuppeltore sind nicht motorisiert, können aber bei Bedarf optional motorisiert werden.
 alter Preis: 4.693,00€ **neuer Preis: 3.927,00€***

*Preise zzgl. Versand ab Europalager Südfrankreich




Poststrasse 79 • 66780 Rehlingen-Siersburg • Tel: 06835 - 923949-0

www.apm-siriuskuppeln.de