

KH 15D (V582 Mon): "Ich bin wieder da!"

Hans-Günter Diederich

Abstract: *In the system KH 15D (V582 Mon) a binary star has been eclipsed gradually by a precessing circumstellar disc until none of the stars did ever reach their maximum light finally. This evolution gave rise for continuous monitoring lasting from 2002 to 2010. Amateur imaging allowed to predict, when the total eclipse should occur. This prediction is compared with "real life".*

With this the project "evolution of minima of KH 15D" seemed to have come to an end. But unexpectedly, only two years later (2012), KH 15D increased its brightness and forced the observers, to continue the project now named "evolution of maxima of KH 15D".

Zusammenfassung: *Im System KH 15D (V582 Mon) wurde ein Doppelstern von einer präzedierenden zirkumstellaren Scheibe fortwährend länger bedeckt, bis schließlich keiner der beiden Komponenten mehr über den Rand der Scheibe hinaus ragte. Diese Entwicklung wurden in den Jahren 2002 bis 2010 in zahlreichen Amateuraufnahmen dokumentiert und erlaubte die Vorhersage der vollständigen Bedeckung eines der beiden Sterne.*

Beobachtung und Auswertung werden erläutert, die Vorhersage mit dem tatsächlichen Helligkeitsverlauf verglichen. Bei Eintritt der vollständigen Bedeckung schien das Projekt "Entwicklung der Minima von KH 15D" 2010 beendet zu sein. Nach nur zwei Jahren tauchte aber einer der beiden Sterne unerwartet früh wieder auf und gibt Anlass zur Fortsetzung des Projekts, jetzt unter dem Titel "Entwicklung der Maxima von KH 15D".

Der ungewöhnliche Stern 15D

Die Geschichte beginnt mit der Arbeit von Kearns & Herbst aus dem Jahr 1998 [8]. Sie hatten begonnen, 1995 bis 1996 vier Felder im jungen Sterncluster NGC 2264 mit CCD-Kamera aufzunehmen. In [8] berichteten sie über die Fortsetzung dieser Beobachtungen von 1996 bis 1997.

In dieser zweiten Kampagne fiel ihnen ein irregulärer Veränderlicher mit großer Amplitude auf: 15D. In nur zwei Datenpunkten sah man KH 15D mehr als >3 mag unterhalb seiner üblichen Helligkeit. Solche "Irregulären" sind zwar selten, in jungen Sternclustern aber auch nicht unbekannt.

Dazu passte aber keineswegs die bald darauf entdeckte Periode von 48 bis 49 Tagen, mit der sich diese tiefen Minima wiederholten. Nachträglich konnten noch zwei weitere im Datenmaterial verborgene Bedeckungen im September und im November 1997 identifiziert werden.

Aus der strengen Periodizität war der Schluss zu ziehen, dass sich das bedeckende Objekt im Umlauf um das bedeckte Objekt befinden musste. Die Faltung mit der Umlaufperiode brachte folgende Eigenschaften zutage:

- In der Mitte des Minimums zeigte sich eine Helligkeitsspitze.
- Die Minima waren sehr breit und sehr tief.

Nun stand fest, dass es sich bei dem bedeckenden Objekt keinesfalls um einen Stern handeln konnte. Es musste ein Protostern oder ein Protoplanet oder etwas anderes in der zirkumstellaren Scheibe sein, welches den bedeckten Stern umrundete und ihn alle ~48 Tage auf eine komplexe Weise bedeckte.

Unabhängig davon, wie das Verhalten von KH 15D letztendlich zu erklären wäre, es handelte sich bei ihm um ein einmaliges und wichtiges Objekt für das Verständnis der Entwicklung von zirkumstellaren Scheiben und möglicherweise für das Verständnis der Entstehung von Planeten (-systemen). Die Autoren legten der Fachwelt eindringlich ans Herz, KH 15D unter permanente Beobachtung zu stellen.

Ein Amateur-Projekt aus der Tageszeitung

Am 21.06.02 erfuhr ich aus der Online-Ausgabe einer Tageszeitung von KH 15D. Seine geschilderten Eigenschaften, mögliche Natur und Bedeutung für die Fachastronomie begeisterten mich, denn KH 15D war nicht nur veränderlich, auch die Veränderlichkeit selber erwies sich als veränderlich: sein breites Minimum wurde immer breiter.

Als Erklärung kam eigentlich nur noch eine präzedierende Scheibe infrage, in deren Mitte sich ein Doppelsternsystem befindet. Nach [9] handelt es sich um eine opake zirkumstellare Scheibe (oder Ring), die gegenüber der Bahnebene der beiden Sterne nur geringfügig geneigt, also koplanar ist. Diese Anordnung sehen wir in Kantenlage ("edge-on"). Scheibe (bzw. Ring) präzedieren auf einer Zeitskala von ~1000 Jahren. Dies führte seit ~1960 zu einer zunehmenden Bedeckung der beiden Sterne, mit einer jährlichen Verbreiterung des Minimums von ca. 1 Tag. Das könnte wie folgt aussehen:

Zwei Sterne umlaufen auf stark exzentrischen Bahnen ihren gemeinsamen Schwerpunkt. Beide befinden sich inmitten einer präzedierenden Scheibe, die mit ihrem "rasiermesserscharfen" Rand die Bahn eines der beiden Sterne (ab jetzt Stern A genannt) immer weiter abdeckt, bis Stern A irgendwann nicht mehr würde sichtbar sein.

Wie sich herausstellte, war der Begleiter (ab jetzt Stern B genannt) bereits vollständig bedeckt. Sein Licht wurde Ende 1995 das letzte Mal unbedeckt gesehen, und zwar auf der einzigen CCD-Aufnahme, die bis 2012 von ihm existierte [9].

In naher Zukunft wären somit beide Sterne des Systems vollständig und dauerhaft bedeckt. Ein Zustand der vielleicht mehrere Dekaden oder gar Jahrhunderte anhalten könnte. Das hörte sich ziemlich spannend an, und ich begann, den Veränderlichen über ca. 8 Jahre hinweg (28.09.2002 bis 20.03.2010) zu beobachten. Abb. 1 zeigt KH 15D im April 2007 im Minimum und wenige Tage später im Maximum.

Veröffentlichungen und Mitarbeit anderer Sternfreunde

Ziel der Beobachtungen war, KH 15D in Aufnahmen eindeutig zu sehen bzw. eindeutig nicht zu sehen und die Zeitpunkte einzugrenzen, zu dem die Wechsel zwischen benachbarten Maxima und Minima stattfanden. Es mussten andere Sternfreunde als Mitbeobachter gewonnen werden, um möglichst viele dieser Wechselzeiten zu erhalten. Vor jedem aus den Elementen berechneten Zeitpunkt wurde daher im BAV-Forum und anderen Mailing-Listen zur Beobachtung aufgefordert. Vorträge auf DST und BoHeTa dienten demselben Zweck. Hinzu kamen über die Jahre hinweg mehrere Veröffentlichungen im VdS-Journal ([1], [3], [4]) und im BAV-Rundbrief ([2], [5]). Als

äußerst intensiv erwies sich die Unterstützung durch Wolfgang Quester, dessen zahlreiche Beobachtungsreihen über Jahre hinweg zum Gelingen des Projekts beitrugen.

KH 15D verlässt sein Minimum

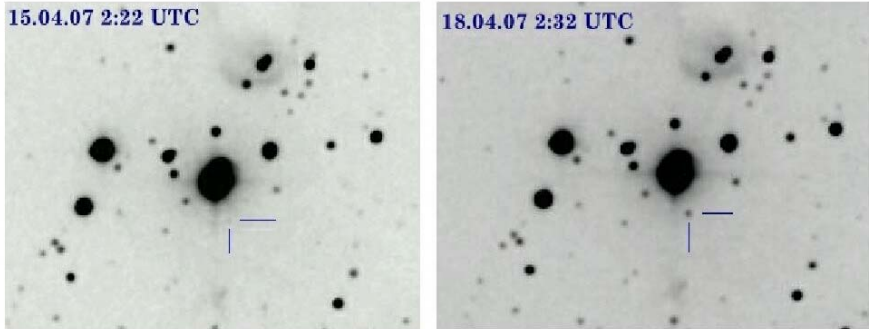


Abb. 1: Zwei zeitlich benachbarte Aufnahmen, die KH 15D einmal im Minimum (links) und (rechts daneben) im Maximum zeigen, Bildautor: Hans G. Diederich

Die Auswertung aller Beobachtungen sollte die zunehmende Bedeckung von Stern A dokumentieren und in einem Diagramm visualisieren. Bald stellte sich auch die Idee ein, aus unseren Amateurbeobachtungen eine Tendenz abzuleiten und eine Vorhersage für den Zeitpunkt der vollständigen Bedeckung zu wagen, die sich vielleicht mit Prognosen der Fachastronomie, zumindest aber mit der wirklich beobachteten vollständigen Bedeckung vergleichen ließ. Auf einmal war KH 15D zu einer richtig spannenden Angelegenheit geworden!

Visualisierung des Minimums und eine "Vorhersage"

Ende 2009 musste die vollständige und dauerhafte Bedeckung von Stern A erreicht worden sein, denn bei den nächsten (und letzten) Beobachtungen vom März 2010 blieb KH 15D dunkel. Auf tiefen Aufnahmen mit Rot- und Klarglasfilter konnte er zwar immer noch identifiziert werden, aber er war nun sehr schwach und blieb es auch.

In Abb. 2 wurden alle Einzelbeobachtungen (positive wie negative, aber auch solche im Übergang zwischen Minimum und Maximum) so dargestellt, dass eine Vorhersage des Eintritts der dauerhaften Bedeckung möglich war. Diese Darstellung fußt auf den Elementen aus Hamilton et al. (2001) [11]:

$$T[\text{minimum}] = 2451626,86 + 48,34 \times E$$

In der Abbildung sind über der Zeitachse (mit Julianischem Datum) die Absolutwerte der Differenzen zwischen den Beobachtungszeiten und dem jeweiligen Mittelpunkt des anhand dieser Elemente berechneten nächstgelegenen Minimums aufgetragen.

Dauer der Minima von KH 15D

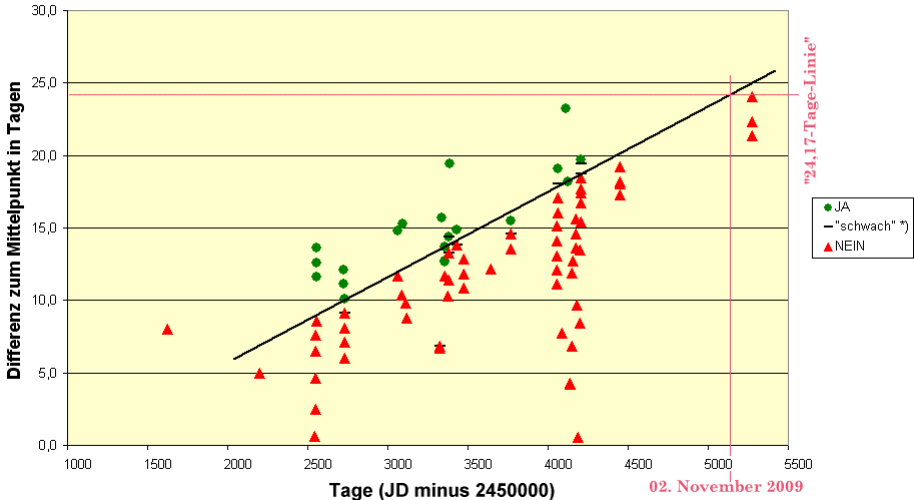


Abb. 2: Darstellung aller Beobachtungen (Differenz zur Mitte des nächst gelegenen Minimums als Funktion des JD) und Vorhersage der vollständigen Bedeckung (Konstruktion mit einer „Tendenzgeraden“), Bildautor: Hans G. Diederich

Zugrunde lag die Annahme, dass sich die rasiermesserscharfe Kante der präzedierenden Scheibe mit konstanter Winkelgeschwindigkeit über die Umlaufbahn von Stern A hinweg schob. Dies wurde gestützt durch den Wert von ca. einem Tag jährlicher Verlängerung des Minimums aus [1]. Eine solche lineare Zunahme war aus mehreren Gründen nicht exakt, aber für eine "erste Näherung" ausreichend.

Meine Idee war nun, ins Diagramm eine "Tendenzgerade" zu zeichnen, welche die "grünen" Sichtungen und die "roten" Nichtsichtungen möglichst gut von einander trennt. Und diese Gerade sollte alle nicht beobachteten Wechselzeitpunkte zwischen den beobachteten interpolieren können. Würde sie in Richtung Zukunft verlängert, ließen sich dortige Zeitpunkte extrapolieren und somit vorhersagen.

Dann würde unweigerlich auch einmal die Grenze erreicht sein, ab der eine weitere Verlängerung des Minimums geometrisch nicht mehr möglich wäre, wenn nämlich die Länge des Minimums den Wert der Umlaufperiode von Stern A erreicht hätte. Nach letztmaliger Anpassung der "Tendenzgerade" (an die Beobachtungen aus Dezember 2007) wurde sie durch Verlängern zum Schnitt mit der waagerechten "24,17-Tage-Linie" gebracht.

Dieser Wert von 24,17 Tagen ist die Hälfte der Periodenlänge von 48,34 Tagen. Länger als $2 \times 24,17\text{-Tage} = 48,34\text{ Tage}$ kann das Minimum nicht werden. Wird dieser Wert erreicht, gibt es kein Maximum mehr, nur noch ein Dauer-Minimum. Ab diesem

Zeitpunkt wären beide Sterne von KH 15D vollständig bedeckt und würde es auch für längere Zeit bleiben.

Im Diagramm wurde als Zeitpunkt für das Erreichen dieses Zustands der 02. November 2009 abgelesen. Dies ist eine Vorhersage, welche mit Ausnahme der Elemente ausschließlich auf Amateurbeobachtungen beruht.

Fotometrierung von Stern A im "Dauerminimum"

Abb. 3 zeigt die Rotfilter-Aufnahme vom 17.03.2010. KH 15D und einige Vergleichssterne aus Fig. 1 von [6] sind im Bild markiert.

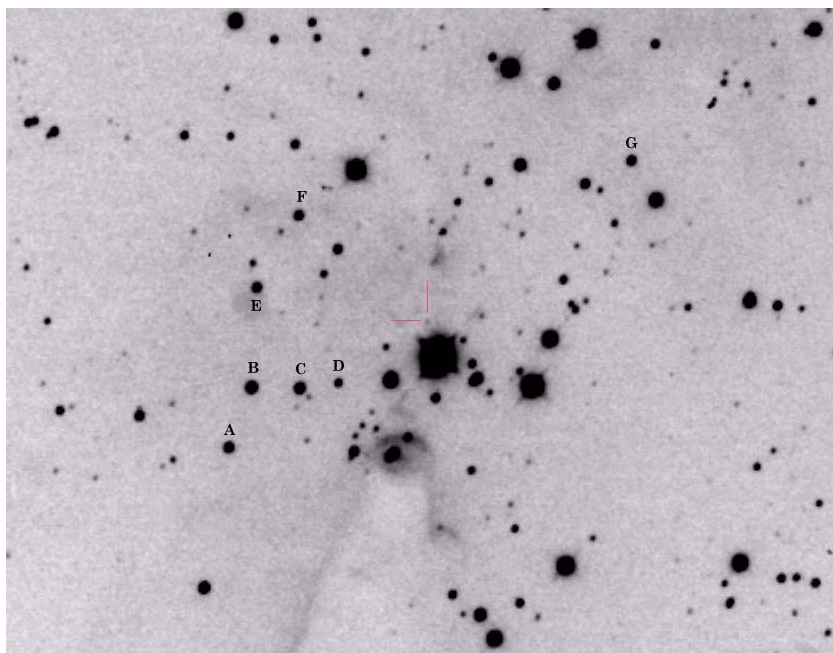


Abb. 3: Fotokarte mit KH 15D und Vergleichssterne (siehe Text)
Bildautor: Hans G. Diederich

Der Veränderliche war an diesem Tag sehr schwach, sollte gemäß den Elementen aber die innerhalb des "Dauerminimums" maximal zu erwartende Helligkeit aufweisen. Und das war zu prüfen.

Als Vergleichssterne wählte ich "Star D" aus der Table 3 von [6] mit $R = 14,328$ mag. Neben dem alles überstrahlenden Licht der Sternscheibe des extrem hellen Nachbarn fehlte aber der Platz für den Einsatz der Fotometrierlupe. Es blieb nur die Möglichkeit einer groben "Fotometrie am Mauszeiger", bei welcher mit der Spitze des Mauszeigers auf das jeweils hellste Pixel des zu messenden Sternscheibchens gezeigt und der

zugehörige lineare Grauwert abgelesen wird. Nach Umwandlung des linearen in das logarithmische Magnitudenmaß ergab sich $R \sim 17,1$ mag.

In [9] wird die Helligkeit von KH 15D im Dauerminimum angegeben mit:

$I = 16,7$ mag bis $18,5$ mag

$V = 18,3$ mag bis $20,3$ mag

Der Wert von $R \sim 17,1$ mag ähnelt also dem Mittelwert von $R \sim 17,5$ mag. Das passte, da die Aufnahme vom 17.03.2010 in der Mitte des früheren Maximums von KH 15D erfolgte und der Veränderliche an diesem Tag die höchst mögliche Helligkeit im "Dauerminimum" zeigen sollte.

Die breiten Wertebereiche dürfen uns nicht erstaunen, denn wir sehen vom vollständig bedeckten Stern A nur sein am Rand der präzedierenden Scheibe gestreutes Licht. Und je näher er diesem Rand von innen kommt, umso mehr Licht wird in unsere Blickrichtung gestreut.

Vergleich von Vorhersage und tatsächlicher Beobachtung

In [10] (veröffentlicht 2003) wird als Eintrittszeitpunkt des Dauerminimums das Jahr 2012 genannt, was sich später als nicht zutreffend herausstellen sollte. Andererseits machte man sich aber bereits Gedanken über die Länge des "Dauerminimums". Auf Seite 6 ist zu lesen: "Das Wiedersichtbarwerden des Systems hängt von der unbekanntem Ausdehnung des bedeckenden Objekts ab."

[9] verweist auf mehrere Vorhersagen zum Eintreten des Dauerminimums und erklärt die sich verstärkende Abnahme der Helligkeit vor den einzelnen Minima durch eine bedeckende Kante, die sich immer weiter über die Projektion der Umlaufbahn von Stern A in der Himmelsebene schiebt.

Der Einfluss der relativen Lage der Umlaufbahn zum bedeckenden Objekt wurde von mir bei der Vorhersage nicht berücksichtigt. Aber auch die Fachastronomen hatten ihre Probleme damit. In [9] werden mehrere Modelle untersucht, welche den zeitlichen Ablauf und das Ausmaß der Bedeckung nicht richtig vorhersagen konnten.

Man ging also davon aus, dass KH 15D in eine Phase getreten war, während der keiner seiner beiden Sterne würde mehr direkt zu beobachten sein. Es könne erwartet werden, so war zu lesen, dass dieser Zustand länger anhielte, vielleicht für Jahrhunderte. Auf der anderen Seite wäre es aber auch möglich, dass Stern A oder Stern B in deutlich kürzerer Zeit wieder heller würde. Nichts an den veröffentlichten Modellen erlaubte, eine verbindliche Aussage zur Dauer der Bedeckung zu machen, außer der, dass nach Ablauf der Präzessionsperiode in ca. tausend Jahren KH 15D seine kürzlich erst verlassene Helligkeit wieder einnehmen würde.

Die letzte positive Beobachtung in [9] erfolgte am 30.03.2009. Für die Überprüfung meiner Vorhersage ist das zu früh. Die erste "negative" Beobachtung nach Beginn des "Dauerminimums" fand gemäß [9] am 06.10.2009 statt. Der Fig. 1 in [7] entnehme ich hierfür den 30.09.2009. Die mit Hilfe der "Tendenzgerade" konstruierte Vorhersage liegt also mit ihrem 02. November 2009 um 33 Tage zu spät. Zwar bin ich mit diesem Ergebnis halbwegs zufrieden, mache mir aber dennoch Gedanken zu den Gründen dieser Abweichung.

Die Ursache könnte hierin liegen: Ein Stern auf stark exzentrischer Bahn folgt dieser nicht mit konstanter Geschwindigkeit. Er bewegt sich (auch in Projektion) nicht mit hoher Geschwindigkeit zum Punkt der größten Auslenkung und ändert dort spontan seine Bewegungsrichtung, um dieser mit derselben hohen Geschwindigkeit wie zuvor zu folgen. Stattdessen wird er schon beizeiten immer langsamer, zeigt einen scheinbaren Stillstand und beginnt dann mit stetig wieder zunehmender Geschwindigkeit zurück zu laufen.

Der scharfe Kante des seine Bahn bedeckenden Rings behält ihre Geschwindigkeit aber bei, holt dadurch immer weiter auf und überholt schließlich den inzwischen still stehenden bzw. bereits rückläufigen Stern.

Dieser Effekt lässt sich durch eine Gerade nicht modellieren. Gemessen mit den Takten der "Periodenuhr" des Sterns A scheint sich die bedeckende Kante vor Eintritt des Systems ins "Dauerminimum" immer schneller zu bewegen. Die Grenzlinie zwischen "grünen" Beobachtungen und "roten" Nicht-Beobachtungen würde sich folglich aufbiegen und die waagerechte "24,17-Tage-Linie" früher schneiden, als es die extrapolierte "Tendenzgerade" tut. Der Beginn des "Dauerminimums" würde als früher eintreten, als bei der Konstruktion mit einer Geraden vorhergesagt.

Endlich Ruhe!

Das Projekt "Entwicklung der Minima von KH 15D" war zu einem erfolgreichen Abschluss gebracht worden. Ein Bericht für den BAV-Rundbrief näherte sich gemächlich seiner Fertigstellung. Zu irgendeiner Aufgeregtheit bestand inzwischen kein Anlass mehr. War doch in [9] zu lesen:

"Es ist klar, dass das Objekt wie vorhergesagt in eine neue Phase eingetreten ist, in der keiner der beiden Sterne zu irgend einer Zeit würde direkt sichtbar sein. Wir dürfen also annehmen, dass die Systemhelligkeit für eine Zeitlang unterhalb von $\sim I = 16.7$ mag verharren wird, vielleicht sogar für (mehrere) Jahrhunderte."

Die Sternfreunde, welche sich an Beobachtung und Auswertung beteiligten oder sich zumindest für KH 15D interessierten, wir alle können uns glücklich schätzen, die Entwicklung des Veränderlichen in vielen Schritten über acht Jahre hinweg verfolgt zu haben. Eigentlich schade, dass jetzt alles vorbei ist. Ich tröstete mich mit dem Gedanken, dass das Universum für uns noch viele andere Veränderliche und Überraschungen bereit hält. Langweilig würde es also nicht werden. Aber dennoch ...

Große Überraschung: 2012 wird Stern B sichtbar!

Ende August 2012 ändert sich diese Situation innerhalb von wenigen Sekunden. Auf astro-ph entdeckte ich eine Arbeit, die sofort elektrisiert ...

Locating the Trailing Edge of the Circumbinary Ring in the KH 15D System, Capelo et al. (2012) [7]

Die Autoren berichten, dass Anfang 2012 unerwartet KH 15D wieder heller wurde. Der Veränderliche "war also wieder da", nach nur zwei Jahren Bedeckung. Die bedeckende Scheibe (man sollte jetzt besser von Ring sprechen) muss also sehr schmal sein.

Und es gibt eine weitere Überraschung: Wir sehen nicht mehr die Komponente des Doppelsternsystems KH 15D, welche bis 2009 immer länger bedeckt wurde und schließlich verschwand (Stern A), sondern erstmals erreicht uns Licht von seinem Begleiter, von Stern B.

Es gibt jetzt also zwei Gründe, alles liegen und stehen zu lassen und sich (erneut) in die Beobachtung von KH 15D zu stürzen.

Details zum zirkumstellaren Ring

Wir erfahren aus [7], wie nach zwei Jahren vollständiger Bedeckung von Stern A (und noch längerer von Stern B) durch einen beide Sterne umgebenden Ring, die Helligkeit von KH 15D in März 2012 unversehens auf $I = 15$ mag zunahm.

Dabei wechselte der Spektraltyp von bisher K6/K7 (dem Spektraltyp von Stern A) zu $\sim K1$. Es ist nämlich nicht Stern A, der von seiner Bedeckung befreit wieder sichtbar wird. Uns erreicht stattdessen erstmals seit 1995 wieder das Licht von Stern B. Dieser besitzt eine höhere Leuchtkraft und einen früheren Spektraltyp als Stern A. Offenbar ist es die "nachlaufende" Kante ("trailing edge") des bedeckenden Objekts, welche in den weitesten Auslenkungen der Umlaufbahn von Stern B diesen periodisch wieder frei gibt. Ein neuer Abschnitt der Entwicklung von KH 15D hat begonnen, welcher von denselben dramatischen Phänomenen begleitet sein sollte, wie wir sie zwischen 1995 und 2009 beobachten konnten.

Der zirkumstellare Ring ist auf seiner Außenseite (in einer Entfernung von ~ 4 AE vom Systemmittelpunkt) gestützt. Hierfür könnte ein sub-stellares Objekt, z. B. ein extrem junger Riesenplanet, verantwortlich sein.

Zur Zeit befindet sich KH 15D in einem optimalen Zustand, diesen vermeintlichen Planeten auch zu erkennen. Beobachtungen müssten allerdings unverzüglich aufgenommen werden, denn je weiter und länger der helle Stern B hinter der bedeckenden Kante hervortritt, um so schwieriger dürften diese Beobachtungen werden.

In Abb. 4 sind die Datenpunkte der Fig. 1 übermalt, die "Endpunkte" der "Datensäulen" durch farbige Geradenstücke verbunden und weitere Skizzierungen vorgenommen. So soll erklärt werden, wie die mehrere Jahre umfassende Lichtkurve von KH 15D durch unterschiedliche Bedeckungen von Stern A und Stern B zustande kamen. Der zeitliche Unterschied zwischen der vollständigen Bedeckung von Stern A und dem (für viele von uns erstmaligen) Auftauchen von Stern B aus einer ebensolchen, stellt ein Maß für die Breite des bedeckenden Rings dar.

KH 15D ist also "wieder da" und hat an Aktualität nichts eingebüßt. Wie könnte ein Amateurprojekt aussehen?

Wie könnte unser neues Projekt aussehen?

Mit geeigneten Elementen ließe sich z. B. in VarEphem der Zeitpunkt der Mitten der zunächst noch schmalen Maxima bestimmen. Tageweise symmetrisch in beiden Richtungen sollte beobachtet werden, bis auf beiden Seiten entsprechende Wechsel vom Maximum zum Minimum festgestellt würden. Diese wären in einem Diagramm zu visualisieren und fortzuschreiben. Daraus ergäben sich dann Vorschläge für die

nächsten Beobachtungstage. Wie schon bei den Minima weiter oben, böte sich schließlich auch die Gelegenheit zu einer neuerlichen Vorhersage, diesmal aber nicht für den Eintritt eines "Dauerminimums", sondern für das Erreichen des "Dauermaximums". Irgendwann würde auch die Bedeckung von Stern A zu Ende gehen und sich im Lichtwechsel bemerkbar machen.

Als Elemente sollten zunächst die revidierten aus [12] angewandt werden ($JD(\text{mideclipse}) = 2452352,26 + 48,36E$), denn die Elemente für die Mitte des Minimums von Stern A gelten ungefähr auch für die Mitte des Maximums von Stern B. Die ersten Beobachtungen werden zeigen, wie genau diese Annahme zutrifft.

Ansonsten gilt dasselbe wie bisher: möglichst viele Sternfreunde beobachten an allen interessanten Tagen KH 15D, dokumentieren die Sichtbarkeit bzw. Nichtsichtbarkeit des Veränderlichen und tauschen ihre Daten aus.

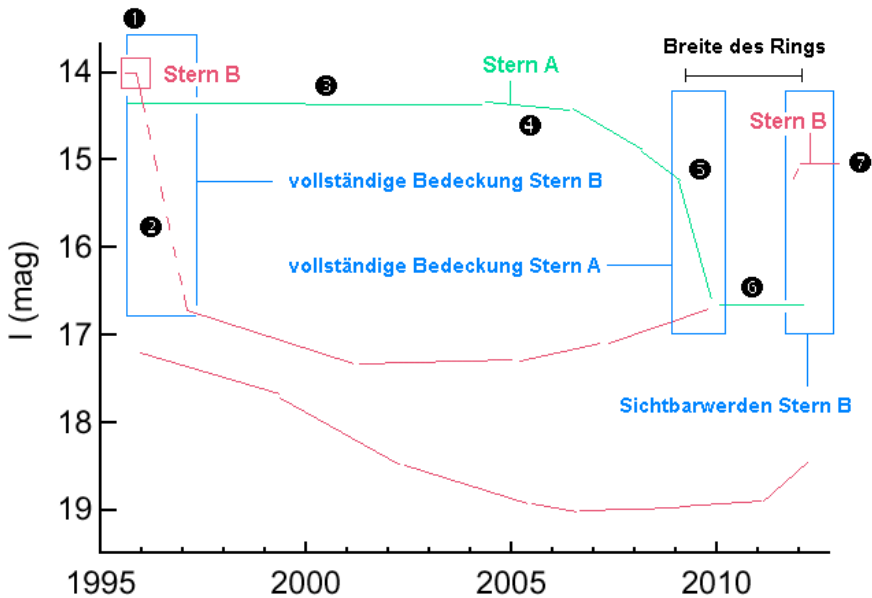


Abb. 4: Entwicklung der Minima und Maxima von KH 15D von 1995 bis 2012 (modifizierte Fig. 1 aus [7])

In der Fig. 5 sind die Breite des Rings und dessen jährliche Verschiebung markiert und mit 0,25 AE bzw. 0,01 AE pro Jahr angegeben.

Literaturverzeichnis

- [1] Diederich, H. G., 2003.Die Geburt eines Planetensystems, VdS-Journal 12 (2003), 124
- [2] Diederich, H. G., 2004.KH15D und seine protoplanetare Scheibe, BAV-Rundbrief Nr. 1 (2004), 18
- [3] Diederich, H. G., 2005.KH 15D und seine protoplanetare Scheibe, VdS-Journal 17 (2005), 128-129
- [4] Diederich, H. G., 2007.KH 15D - ein Stern verschwindet, VdS-Journal 24 (2007), 107-109
- [5] Diederich, H. G., 2007.KH 15D - ein Stern verschwindet, BAV-Rundbrief 1 (2007), 35-40
- [6] Hamilton, C. M., et al., 2005.The Disappearing Act of KH15D: Photometric Results from 1995 to 2004, arXiv:astro-ph/0507578v1
- [7] Capelo, H. L., et al., 2012.Locating the Trailing Edge of the Circumbinary Ring in the KH 15D System, arXiv:1208.5497v1
- [8] Kearns, K. E., Herbst, W., 1998.Additional Periodic Variabels in NGC2264, AJ 116:261-265
- [9] Herbst, W., et al., 2010.The Light Curve of the Weakly-Accreting T Tauri Binary KH 15D from 2005-10: Insights into the Nature of its Protoplanetary Disk, arXiv:1007.4212v1
- [10] Winn, J. N., et al., 2003.KH15D: Gradual Occultation of a Pre-Main-Sequence Binary, arXiv:astro-ph/0312458v2
- [11] Hamilton, C. M., et al., 2001.Eclipses by a circumstellar dust feature in the pre-main-sequence star KH 15D, arXiv:astro-ph/0105412v2
- [12] Herbst, W., et al., 2002.Fine Structure in the Circumstellar Environment of a Young, Solar-like Star: the Unique Eclipses of KH15D, arXiv:astro-ph/0208203

Hans-Günter Diederich, Insel Str. 16, 64287 Darmstadt