

# EX Hydrae - ein etwas sonderbarer Intermediärer Polar (IP)

## Teil 2

Hans G. Diederich

### Einleitung

Teil 1, der sich im Besonderen den Intermediären Polaren (IP) und EX Hya widmet, endete mit Fragen, die zum Beobachten und Auswerten der Lichtkurve von EX Hya überleiten:

Welche der Eigenschaften von EX Hya lassen sich von uns beobachten?

Wie sieht die Lichtkurve von EX Hya aus?

Wie können wir diese interpretieren?

### Kurzperiodische Lichtkurven sind vorteilhaft

Die Lichtkurven von kataklysmischen Veränderlichen (CV) mit Bedeckungen finde ich besonders reizvoll und gleichzeitig auch "beobachterfreundlich". Natürlich gibt es Ausbrüche und Ephemeriden für Bedeckungsminima und andere periodisch wiederkehrenden Ereignisse, aber um all das kümmern ich mich nicht. Die Belichtungsserie wird gestartet, anderthalb bis zwei Stunden, allenfalls eine halbe Nacht. Sie sollte nur länger als eine einzige Periode sein, die ich in der Lichtkurve auswerten möchte. Der Zeitpunkt eines Bedeckungsminimums muss nicht erst langwierig voraus berechnet werden. Es ist immer dabei, wenn länger als eine Umlaufperiode aufgenommen wird.

Durch diese Beobachtungsweise benötige ich vor dem Start der Bilderserie nur Kenntnis über Position und Helligkeit, sowie über die Periodenlänge. Daraus ergibt sich die Einzelbelichtungszeit. Mehr ist nicht erforderlich. Somit unterliege ich weder dem Zwang, auf einen Ausbruch warten zu wollen, noch dem Diktat, permanent aus den Elementen die Lage der Minima zu bestimmen. Auf- und Untergangszeiten und die vielen anderen Projekte müssen damit nicht abstimmt werden. Wenn im Astro-Urlaub die Reihenfolge der Projekte geändert wird, ist dieser Freiheitsgrad sehr willkommen.

Strukturen und Feinheiten der Lichtkurve werden zuhause erkannt, beschrieben und interpretiert. Dort ist dann Zeit und Ruhe, im Internet nach geeigneter Literatur zu suchen. CV und insbesondere magnetische CV (mCV) sind sehr ergiebig, erst recht die IP. Wenn einer dann wie EX Hya auch noch sonderbar und hell ist, kann sich kein Beobachter mehr beklagen.

### Allgemeines zur Lichtkurve von EX Hydrae

Am 26.06.11 hatte ich die Lichtkurvenserie um 20:54 MEZ ohne Kenntnis der zeitlichen Lage der Bedeckungsminima gestartet. Lt. FITS-Header lief die Serie bis 22:46:58 MEZ. Die mittlere Helligkeit von EX Hya beträgt  $V \sim 12,7$  mag [Abb. 1]. Sie ermöglichte eine kurze Belichtungszeit von 10 Sekunden (Binning 1, Bildausschnitt, Autodark, Klarglasfilter, ohne Nachführung) und ergab eine hohe zeitliche Auflösung. Ohne Pause wurden 508 Einzelbilder aufgenommen. Trotz stark reduzierter Bildgröße kamen während der fast zwei Stunden dauernden Serie 283 MB an Daten

zusammen. Eine Zentrierung von Hand ist bei 508 Einzelbildern nicht mehr möglich. Stattdessen erfolgte mit der Einstellung "star match" eine automatische Zentrierung bei der Erstellung der Lichtkurve. Im animierten Schnelldurchlauf (0,05 s pro Einzelbild) war kein Lichtwechsel zu erkennen. Die Helligkeit von EX Hya erscheint über den langen Aufnahmezeitraum konstant.

Erst in einer Tabellenkalkulation aufbereitet zeigt sich ihre hohe Qualität [Abb. 2]. Die Standardabweichung der Helligkeit des 2. Vergleichsterns ("check star") beträgt 0,008 mag, ist also sehr gering. Die grafische Darstellung zeigt eine außerordentlich strukturreiche Lichtkurve. Der Abfall ins erste Minimum wurde knapp verpasst. Die Helligkeit in seiner Mitte kann also nicht abgelesen, nur eine untere Grenze angegeben werden.

Es gibt einfachere Lichtkurven als die von EX Hya. Hier aber werden wir mit vielfältigen Strukturen geradezu beschenkt. Manche springen ins Auge, andere entdecken wir erst nach einiger Zeit. Auch bei anderen mCV und IP ist das häufiger der Fall. Daher rührt auch mein Interesse an diesen Veränderlichen. In der Literatur gelingt es, Erklärungen für manche dieser Strukturen durch die Identifizierung mit astrophysikalischen Komponenten und den entsprechenden Bewegungsabläufen zu finden. Aber nicht immer, denn die Erforschung mancher Veränderlicher ist noch nicht abgeschlossen.

Die Schilderungen der Strukturen im Text sind mit der grafischen Darstellung in Abb. 2 durch die Nummerierung verknüpft. Es ist hilfreich, die Seite mit der Lichtkurve zu kopieren und beim Lesen neben das Heft zu legen. Die Beschreibung folgt dem zeitlichen Ablauf der Lichtkurve von links nach rechts.

### **Beschreibung der Lichtkurve**

Die Bilderserie der Lichtkurve überstreicht ein Zeitintervall von 113 Minuten. Die Umlaufperiode von EX Hya beträgt 98 Minuten, und die Rotationsperiode des Weißen Zwergs dauert 67 Minuten. Ich trage die Zeitdauern dieser Perioden als Balken entsprechender Länge ins Diagramm ein. Der Verlauf der Lichtkurve ist durch Geradenstücke angenähert [Abb. 2].

Die Amplitude (höchster bis niedrigster Wert) beträgt  $\sim 1,1$  mag. Das könnte bereits die Amplitude in der "roten" Lichtkurvenserie der AAVSO am 10.02.2011 erklären (diese betrug 0,75 mag).

Bei guten Bedingungen (besser als 0,05 mag) zeigt sich ein Jitter von  $>0,2$  mag, der (fast) periodisch erscheint mit einer ungefähren Periode von 2,5 Minuten. Sind das Quasi Periodische Oszillationen (QPO)? Ist es "Flickering" (der Akkretionsscheibe)? Interessant dass diese QPO in jedem Teil der Lichtkurve (ungeachtet deren jeweiligem Erscheinungsbild) auftreten. Ich notiere mir die Zeitpunkte aufeinander folgender Maxima auf der x-Achse. Die Abstände zwischen diesen x-Werten (in Pixel) liegen bei 7 bis 20 Pixel, das sind 2,5 bis 7,1 Minuten. Das ist eine Häufung bei ganzzahligen Vielfachen von 2,5 Minuten. Vielleicht sind das wirklich QPO. Das wird später noch genauer untersucht werden, jetzt soll aber erst der Kurvenverlauf allgemein weiter beschrieben werden.

- (1) Niedrigste Helligkeit im Minimum. Kein Hinweis, ob der Boden des Minimums erfasst oder verpasst wurde. Die Lichtkurve steigt steil aus dem (vorangegangenen) Minimum auf ...
- (2) ... und hält für eine kurze Zeit bei konstanter Helligkeit inne (vielleicht ist das die "extended egress shoulder" aus der Literatur).
- (3) Nach diesem Plateau setzt sich der steile Anstieg von (1) nach oben fort.
- (4) Aber schon kurze Zeit später nimmt die Geschwindigkeit des Helligkeitsanstiegs ab.
- (5) Das Maximum der Helligkeit ist erreicht mit einem fast konstanten Wert.
- (6) Aber schon geht es wieder steil nach unten mit einer Geschwindigkeit, welche der im Anstieg bei (1) und (3) gleicht.
- (7) Erneut stockt der Helligkeitsabfall, verharrt aber nicht auf einem konstanten Wert. Die zunächst erreichte Helligkeit nimmt stattdessen weiter ab, gleichmäßig und mit einer sehr geringen Geschwindigkeit.
- (8) Der Veränderliche wird wieder heller, der Anstieg ist in seiner Geschwindigkeit am ehesten mit (4) vergleichbar.
- (9) Ein niedrigeres Maximum als in (5) wird erreicht. Und erneut setzt eine langsame Helligkeitsabnahme ein, mit einer Geschwindigkeit, welche der in den Abschnitten (5) und (7) entspricht.
- (10) Der Abfall von (9) wird für kurze Zeit durch ein V-förmiges Minimum unterbrochen.

### **"Kurvendiskussion" - Eine Lichtkurve wird erklärt**

Bereits im letzten Kapitel ließen sich Versuche zur Erklärung des Lichtkurvenverlaufs nicht vollständig unterdrücken. Der wichtigste Schritt ist jetzt aber, in der Literatur zumindest eine einzige Lichtkurve zu finden, die meiner ähnelt und diese dadurch bestätigt.

Die Suche nach einer solchen Lichtkurve erwies sich als frustrierend, weil fast immer die zeitlich Auflösung nicht den Verhältnissen der eigenen Beobachtung entsprach und zudem die Entwicklung der Kameras so große Fortschritte gemacht hatte, dass heutige Amateuraufnahmen erheblich besser sind als frühere Aufnahmen der Fachastronomie.

Fündig wurde ich in [1], deren Abbildungen auch halfen, in der eigenen Lichtkurve deutliche Anzeichen für die Länge von Umlaufperiode und Rotationsperiode zu finden.

Für die hierunter folgenden Erklärungsversuche der einzelnen Details gelten die zu Beginn bereits gemachten Einschränkungen und Vorbehalte. Ich wiederhole, dass mir bis heute keine Arbeit bekannt ist, die alle in meiner Lichtkurve zweifelsfrei erkennbare Strukturen widerspruchsfrei und eindeutig Strukturen in der Geometrie des Systems EX Hya zuordnet.

Mit der Hilfe von [4] glaube ich, die gröberen Details der Lichtkurve von EX Hya im Ruhezustand interpretieren zu können. Die Nummern im Text hierunter beziehen sich wie oben bei der allgemeinen Schilderung auf die Nummerierung in Abb. 2.

Im Minimum (1) verdeckt der Sekundärstern den Weißen Zwerg und gibt nach dem Ende der Bedeckung den Blick wieder frei, auf ihn, auf seine heiße obere Polkappe und auf den oberen "Akkretionsvorhang" (5), in dem das akkretierte Material in einem weiten Bogen den Magnetfeldlinien folgend zur Polkappe gelenkt wird und auf diese hinabstürzt.

Im weiteren Umlauf verdeckt der obere "Akkretionsvorhang" den Weißen Zwerg mit seiner heißen Polkappe, es könnte auch der "chunk of material" (Materialklumpen) im Akkretionsring sein. Jedenfalls fällt die Helligkeit sprunghaft ab (6). Die Abnahme der Helligkeit setzt sich danach sehr langsam und stetig fort, Gründe für diesen Abfall sind mir nicht bekannt (7).

Während Phase (8) gibt der obere "Akkretionsvorhang" den Blick auf den Weißen Zwerg und seine heiße obere Polkappe wieder frei, wie bereits bei (4) beschrieben. Aber jetzt kommt uns wieder der Sekundärstern in die Quere und bedeckt den Weißen Zwerg und dessen obere Polkappe (10), wir sehen ein Bedeckungsminimum.

Die kurze "Schulter" am Ende des Minimums [(2) bis (3)] und der sich daran anschließende bzw. fortsetzende steile Anstieg (3) können von mir nicht sicher erklärt werden. Es sieht so aus, als sei kurz nach dem Freiwerden einer ersten annähernd punktförmigen Struktur eine weitere ähnlich kleine aus der Bedeckung durch den Sekundärstern heraus getreten. Vielleicht war es zunächst nur das Sichtbarwerden vom "hot spot" (der Einschlagsstelle des "Akkretionsstroms" in die Magnetospäre des Weißen Zwergs) und danach das Freiwerden vom Weißen Zwerg mit seiner oberen Polkappe.

Der nicht so schnelle Anstieg danach (4) könnte (auch) durch den zunehmenden Blick auf die Innenseite des "Akkretionsvorhangs" zustande kommen.

Mir kommt der Gedanke, dass der steile Abfall (6) vielleicht die Bedeckung der oberen "Akkretionssäule" oder/und des oberen Magnetpols durch den Weißen Zwerg selber ist. Egal ob das stimmt, die schnellen Veränderungen von (1), (3), (6) und (10) lassen sich nur durch Strukturen geringer Ausdehnung erklären.

Durch den mit (5) benannten Teil der Lichtkurve (das Maximum der Spinperiode) lässt sich eine abfallende Trendgerade ziehen (bei mir zunächst durch eine Waagerechte angenähert), welche einen ähnlichen Abfall wie die "Schulter" (2) und denselben Abfall wie (7) und (9) zu haben scheint. Offenbar sind dies alles Teile derselben Struktur, welche nur durch andere Ereignisse und Strukturen unterbrochen bzw. bedeckt werden.

Vermutlich handelt es sich dabei um den oder die beiden "Akkretionsvorhänge", welche mit der Spinperiode des Weißen Sterns umlaufen und durch heftiges Flickering (vermutlich durch Prozesse am Akkretionsring oder/und in den "Akkretionsvorhängen" selber erzeugt) überlagert sind. Vielleicht sind es (auch) QPO.

## Wie geht es weiter?

Wie am Ende des Teil 1 endet auch dieser Teil 2 wieder mit Fragen. Zwar müssen die Antworten darauf in der Literatur gesucht werden. Es ist aber sinnvoll, zunächst unsere Untersuchung der Lichtkurve fortzusetzen und eine weitere, alternative Interpretation zu wagen. Das soll der Inhalt des nächsten Teils sein.

Die Aufnahmen entstanden 2011 auf der IAS-Sternwarte Hakos (Namibia)

## Strukturen in IP (Begriffe)

accretion curtain	Akkretionsvorhang	
accretion disc	Akkretionsscheibe	
accretion ring	Akkretionsring	
accretion stream	Akkretionsstrom	
accretion column	Akkretionssäule	... oberhalb eines Magnetpols
hot spot	Heißer Punkt	Einschlag Strom auf Ring/Scheibe

## Literaturverzeichnis

- [1] Vogt, N., et al., 1980. Periodic and secular variations in the lightcurve of dwarf nova EX Hydrae, *Astron.Astrophys.* 85,106-112  
[4] Mhlahlo, N., et al., 2007. Spectroscopic Observations of the Intermediate Polar EX\_Hydrae in Quiescence, arXiv:0704.0017v1

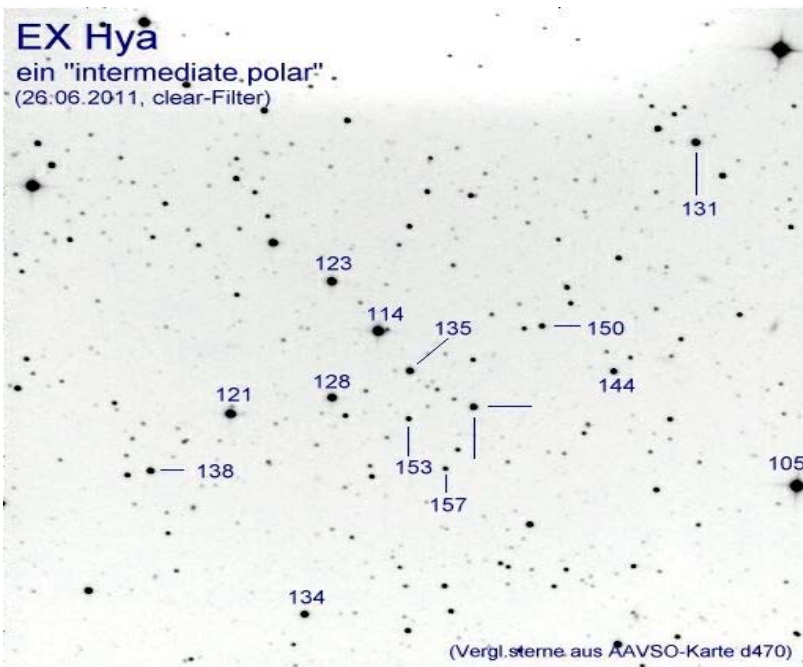


Abb. 1: Fotokarte (50-cm-Cassegrain, 240 s) mit Vergleichssterne der AAVSO

# Lichtkurve von EX Hydrae im Ruhezustand

26.06.2011, Hako, 50-cm-Cassegrain, STL-1001E, 508 Einzelbilder a 10 Sekunden

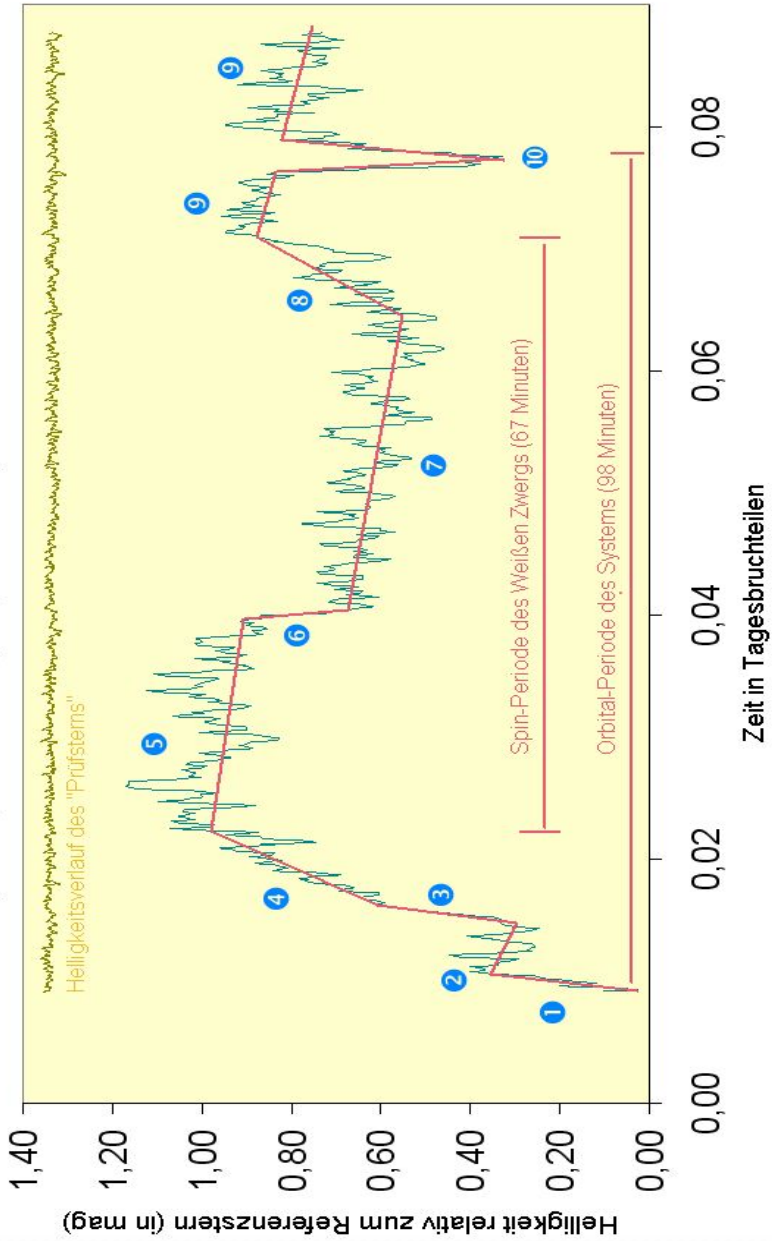


Abb. 2: Lichtkurve von EX Hydrae im Ruhezustand (siehe Text)