

T Pyxidis - eine rekurrente Nova im Ausbruch - Teil 2

Wie lässt sich der unerwartete Ausbruch in 2011 erklären?

Hans-Günter Diederich

Einleitung

Am 14. April 2011 ereignete sich ein Ausbruch der rekurrenten Nova T Pyx. Der Veränderliche gehört einer Untergruppe an, die nur zwei Mitglieder umfasst, und ist ihr Prototyp. Von T Pyx sind nun 6 rekurrente Novaausbrüche bekannt (1890, 1902, 1920, 1944, 1967 und 2011). Bei dem Ereignis von 1866 muss es sich um einen "klassischen" Nova-Ausbruch gehandelt haben, der auf eine sehr lange Ruhephase folgte.

[7] hatte den Ausbruch von T Pyx für 2052 ± 3 vorausgesagt. Diese Angabe wurde in [8] revidiert. Nun sollte dieser Ausbruch erst in der Zeit nach 2225 erfolgen. Und diese Vorhersage ging voll daneben ("horribly wrong"), denn T Pyx brach bereits 2011 aus.

Der erste Teil des Aufsatzes [6] widmete sich der Literatur bis zum Ausbruch von 2011. Im aktuellen Teil 2 werden Amateurbeobachtungen präsentiert. Zudem gilt es zu verstehen, warum die Vorhersagen falsch waren.

Das Literaturverzeichnis enthält alle Arbeiten, welche in den Teilen 1 bis 3 behandelt werden.

Entdeckung des Ausbruchs 2011

Der nächste Ausbruch war zunächst früher erwartet worden. [1] zeigen, wie die Zeiten zwischen den Ausbrüchen (beginnend mit 1890) eine Länge von 11,9, 17,9, 24,6 und schließlich 22,1 Jahren [10] aufweisen. Mitte der 1980er Jahre meinten viele Astronomen, dass T Pyx nun jederzeit ausbrechen "sollte". Das ergab sich aus der Kenntnis des letzten Zeitraums zwischen zwei Ausbrüchen, der 22 Jahre betrug. Und 1967 (der damals letzte Ausbruch) plus 22 Jahre ließ den nächsten Ausbruch um 1989 erwarten.

Folglich stand T Pyx spätestens ab 1989 unter nächtlicher Dauerbeobachtung. Aber auch, als das nächste Jahrzehnt begann und in den Jahren danach, wollte sich der erwartete Ausbruch nicht einstellen.

Erst am 14. April 2011 war es wieder soweit. Thorsten Lange berichtete über das Ereignis in [2] wie folgt:

"Die Entdeckung des aktuellen Ausbruchs erfolgte am 14. April ... erreichten die Werte 7.5 mag. ... Der Abstieg auf Normalhelligkeit wird voraussichtlich etwa neun Monate dauern. Bedauerlicherweise verschwindet der Stern Ende Juli hinter der Sonne."

Eigene Beobachtungen im Juni 2011

Seit dem Ausbruch am 14.04.11 waren bereits mehr als zwei Monate vergangen, als sich auf der IAS-Sternwarte Hakos (Namibia) die Gelegenheit zur Beobachtung ergab.

T Pyx hatte allerhöchste Priorität und stand bereits am frühen Abend kurz vor seinem Untergang: ein ziemlich "grenzwertiges" Projekt also.

Das Abendessen wurde beschleunigt eingenommen, und nach schwierigem Sternhüpfen, immer am Horizont entlang, T Pyx schließlich erreicht. Aber noch vor dem Fokussieren schlug der Veränderliche in die Windschutzfelder der Nachbarsternwarte ein.

Am nächsten Abend, dem 25.06.11, verzichtete ich auf den Nachttisch. Der Weg zum Objekt, am Vortag notiert, konnte nun schneller durchlaufen werden. Es folgten mehrere Serien kurzer Aufnahmen mit verschiedenen Filtern. Um 20:30 befand sich T Pyx nur noch $\sim 15^\circ$ über dem Horizont. Um das wabernde Sternscheibchen noch sinnvoll aufnehmen zu können, wurde Binning 2 gewählt. Dank der Parfokalität aller Filter konnten mehrere Serien innerhalb kürzester Zeit aufgenommen werden.

Tabelle 1. Instrumentierung

Teleskop:	50-cm-Cassegrain
Brennweite	4,500 mm (Sekundärfokus)
Kamera:	STL-1001E (24 μm)
Abbildungsmaßstab	2,2"/Pixel (bei Binning 2)

Tabelle 2. Aufnahmen

Einzelbilder	Belichtungszeit	Binning	Filter
10	1 s	2	Klarglas
10	1 s	2	Blau
10	1 s	2	Grün
10	1 s	2	Rot
10	1 s	2	Infrarot
10	1 s	2	H-alpha

Abb. 1 aus [6] zeigt in einer Montage T Pyx als Fotokarte im Ausbruch am 25.06.11 neben dem markierten Aladin-Screenshot mit rotem DSS-Bild. Die Fotokarte entstand aus der Serie der Klarglasaufnahmen. Der Veränderliche hat selbst zweieinhalb Monate nach der Entdeckung seines Ausbruchs den Ruhezustand noch nicht wieder erreicht. In [2] war ein solche langsamer Abstieg erwähnt worden, der "etwa neun Monate" dauern würde.

So etwas im eigenen Bild zu sehen, ist immer wieder ein kleines Erlebnis. Unvorbereitet hat man die helle Nova vielleicht direkt vor der Nase, und merkt nur, dass etwas mit der Navigation nicht stimmt.

Mit der gelungenen Aufnahme im Ausbruch soll T Pyx bei nächster Gelegenheit auch im Ruhelicht aufgenommen werden. Der Aladin-Screenshot zum Vergleich würde dann überflüssig. Aus beiden Bildern ließe sich eine Animation erstellen, die als "Blinksequenz" den Helligkeitsunterschied deutlich in Szene setzte. Aber soweit ist es noch nicht.

Zwei Vergleichssterne der AAVSO-Karte wurden in der eigenen Grünfilter-Aufnahme markiert (Abb. 1) und damit die relative Fotometrie durchgeführt. Die Werte sind der Tabelle 3 zu entnehmen. Der Mittelwert für T Pyx am 25.06.11 beträgt $V = 8,2$ mag. Der Lichtkurven-Generator der AAVSO gibt für denselben Tag $V = 8,0$ mag an. Dem Lichtkurven-Generator der BAV entnehme ich $V \sim 8,5$ mag. Mein Wert liegt zwischen beiden.

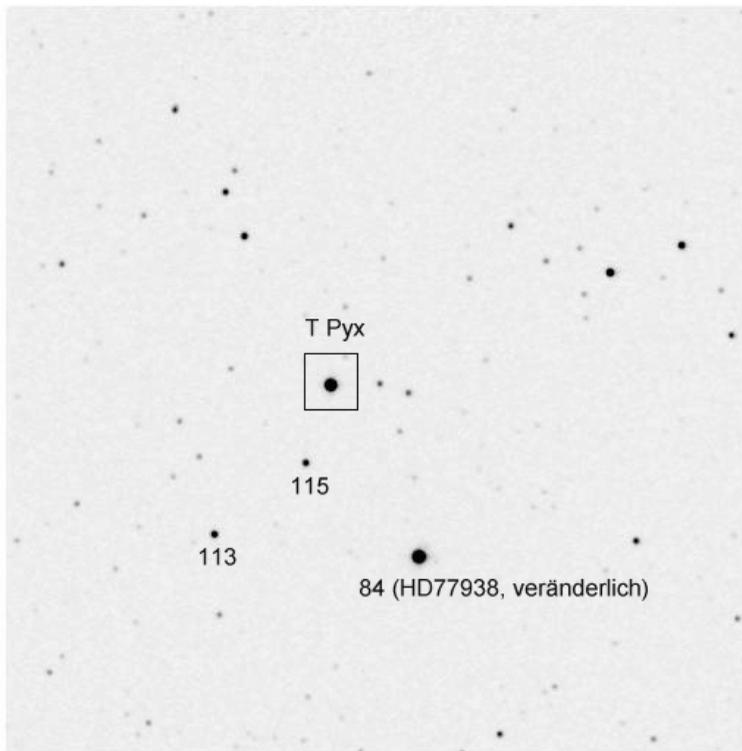


Abb. 1: Fotokarte für die Fotometrierung von T Pyxidis (25.06.2011). Norden ist oben.
Bildautor: Hans G. Diederich

Tabelle 3. Fotometrie

Vergleichsstern		T Pyx
Kurzbezeichnung	V / mag	V / mag
113	11.3	8,159
115	11.5	8,169

Experimentellen Charakter hatte der Versuch, trotz fehlender Vergleichssterne aus allen Filteraufnahmen das Verhältnis der linearen Helligkeiten (Pixelgrauwerte) abzuleiten und diese miteinander zu vergleichen (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4. Helligkeitsverhältnis zu HD77938

Filter	clear	blue	green	red	IR	H-alpha
Hintergrund	1456	1012	1026	1091	1324	1018
HD77938	584258	21411	108515	239530	580234	22596
T Pyx	485727	43077	82307	146054	172823	52032
HD77938 (minus Hintergrund)	582802	20399	107489	238439	578910	21578
T Pyx (minus Hintergrund)	484271	42065	81281	144963	171499	51014
T Pyx / HD77938	0,83	2,06	0,76	0,61	0,30	2,36

Die Auswertung dieser Tabelle lässt sich wie folgt zusammenfassen: Relativ zu HD77938 nimmt die (lineare) Helligkeit von T Pyx vom Blauen bis zum IR immer mehr ab. Dies überrascht nicht bei dem sehr roten Stern HD77938 (M4/M5 III). Darüber hinaus ist T Pyx im Blauen sehr hell. Sein Weißer Zwerg ist ein heisses und damit blaues Objekt. Aber auch mit H-alpha-Filter zeigt sich der Veränderliche durch die heiße, sich ausdehnende Wasserstoff-Schale ("Feuerball") als besonders hell. Das hatte ich bisher bei keiner Nova so deutlich gesehen.

Statt zu messen lassen sich die Filterbilder aber auch nebeneinander stellen und "visuell" vergleichen (Abb. 2, siehe weiter unten). Im Auswertungstagebuch wurde notiert:

"T Pyx ist offenbar von Blau bis IR ungefähr gleich hell. Aber sein H-alpha-Bild fällt vollständig aus diesem Rahmen: hierin ist er das hellste Objekt. Das passt nicht zu einem normalen Stern. Etwas geschieht mit seinem Wasserstoff, da große Mengen ionisiert sind und in H-alpha emittieren. Der Veränderliche ist eine Nova im Ausbruch! Hätte man nur die Aufnahmen in Breitbandfilter ... würde einem ohne weitere Hinweise nichts auffallen."

Literatur nach dem Ausbruch

Mit ihrer "Special Notice #244" bat die AAVSO am 30.06.11 um Fortsetzung der Beobachtung von T Pyx und stellte auch eine Fotokarte mit Vergleichssterne bereit:

AAVSO Special Notice #244 (30.06.11):

Continued close monitoring of T Pyx requested

Seit seinem Ausbruch am 14.04.2011 wird die rekurrente Nova T Pyx sehr gut visuell und mit CCD beobachtet. Die Helligkeit beträgt aktuell $V \sim 8,3$ mag. Die Kampagne von Dr. Bradley Schaefer, Louisiana State University dient dem Zweck, grundlegende Informationen über rekurrente Novae zu erhalten. Die fortgesetzte lückenlose Beobachtung ist unbedingt erforderlich. Verwenden Sie bitte folgende Vergleichssterne:

COMPARISON:	AAVSO="93"	HD77862	B=9.85	V=9.31
COMP2	AAVSO="69"	HD77645	B=6.90	V=6.93
COMP3:	AAVSO="115"	CD-31 \AA °6884	B=12.12	V=11.52
Variable star:	AAVSO="84"	HD77938	B=9.49	V=8.44

Die Verwendung von COMPARISON star (AAVSO="93") wird für die differentielle Fotometrie empfohlen, da dieser Stern dieselben Farben wie T Pyx besitzt. Bei diesen hellen Sternen und mit differentieller Fotometrie ist es möglich, der Nova bis zum Horizont zu folgen.

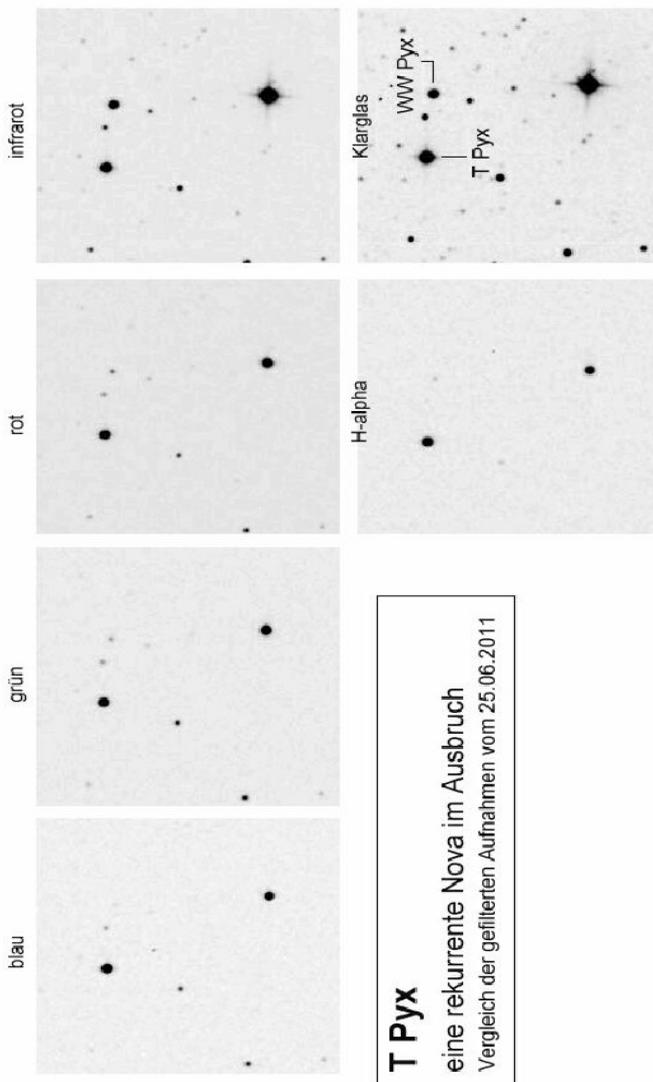


Abb. 2: Vergleich der gefilterten Aufnahmen von T Pyxidis (25.06.2011). Norden ist oben. Bildautor: Hans G. Diederich

Die Nova T Pyx wurde ab dem ersten Tag des Ausbruchs bis zum Ende der Sichtbarkeit Ende Mai 2011 mit hoch auflösender Spektroskopie beobachtet [5]. Die Autoren schlagen eine Entfernung von $\geq 4,5 \text{ kpc}$ (mit der zuvor akzeptierten Entfernung von $3,5 \text{ kpc}$ als unterer Grenze) vor. Ebenfalls höher als zuvor leiten sie eine Extinktion von $E(B-V) \sim 0,5 \text{ mag}$ ($\pm 0,1 \text{ mag}$) ab.

Die erste Beobachtung zeigte Emissionslinien von He I, He II, C III, and N III mit einer maximalen Geschwindigkeit des P-Cygni-Profiles bei Balmer- und He-I-Linien von $\sim 2500 \text{ km/s}$, charakteristisch für das Feuerball-Stadium ("fireball stage").

Diese Ionen konnten im zweiten Spektrum am 23.04.2011 nicht mehr nachgewiesen werden. Ihre Rekombinationszeit erlaubte eine Schätzung der Novaauswurfmasse zu $10^{-5} M_{\text{sun}}$.

Mehrere Absorptionsliniensysteme (Balmer, Fe-Spitze, Ca II und Na I) ließen in ihrer Geschwindigkeit eine "beschleunigte" Verdrängung ("accelerated" displacement) erkennen. Shore et al. (2011) zeigten zu dem, dass diese Absorptionsfolge durch eine Rekombinationsfront beschreibbar war, welche sich im ausdehnenden Gas nach außen bewegt, und zwar ohne Sternwind und ohne Zusammenstoß mit zirkumstellarer Materie.

Drei Gründe für das Versagen des bisherigen Modells

Es sind drei Gründe, warum das übliche "alpha-Scheiben"-Modell zur Erklärung von T Pyx versagt:

- (1) T Pyx ist ein intermediärer Polar, in dem ein Magnetfeld hoher Feldstärke einen großen Teil der thermischen Scheibe zerstört und Zyklotronstrahlung erzeugt.
- (2) "Thermonukleares Brennen" findet noch immer auf der Oberfläche des Weißen Zwergs statt. Dessen Emission übertrifft jede von der Akkretionsscheibe erzeugte Strahlung. Dies ist ein bei CV seltener Zustand.
- (3) T Pyx weist eine sehr hohe Akkretionsrate auf, da es sich bei ihm um eine rekurrente Nova handelt. Die örtliche Akkretionsrate an den Polkappen des Weißen Zwergs lässt ungewöhnliche Konfigurationen entstehen (Nomoto 1982), welche ebenfalls bei CV selten sind.

Diese drei Zustände liegen alle bei T Pyx vor. Folglich haben Vergleiche mit "normalen" CV nur geringe Relevanz. Hohe Leuchtkräfte und hohe magnetische Feldstärke führen zu nicht-thermischen Emissionen. Dies zeigt sich in der spektralen Energieverteilung ("Spectral Energy Distribution", SED) daran, dass im optischen Licht thermische Emissionen von nicht-thermischen dominiert werden.

Mit diesem Wissen liegt eine plausible Erklärung vor, warum T Pyx 2011 ausbrach. Der Fluss von T Pyx nimmt nun bereits seit 121 Jahren ab, und damit auch die Akkretionsrate. Immer mehr Zeit zwischen den Ausbrüchen vergeht, bis die für einen Ausbruch erforderliche Masse auf dem Weißen Zwerg angesammelt ist.

Im 22-Jahre-Intervall vor dem Ausbruch von 1967 lag die Helligkeit von T Pyx um einen Faktor von fast zwei höher, verglichen mit dem folgenden, sodass ein Intervall mit ungefähr der doppelten Dauer zu erwarten war (also 44 Jahre). Der nächste, auf 1967 folgende Ausbruch hätte also in $1967 + 44 = 2011$ erfolgen sollen (wie es auch der Fall war).

Der Fehler von [7] und [8] bei der Vorhersage war ganz einfach die Annahme einer gewöhnlichen Akkretionsscheibe, deren Helligkeit durch das alpha-Scheiben-Modell beschrieben wird.

Was noch fehlt ...

Die Arbeit [1] ist mit einer Länge von 30 Seiten äußerst umfangreich und auch in einer Fortsetzungsfolge nicht vollständig darzustellen. Zwar wird der dritte Teil mit dem Kapitel "Das 44 Jahre lange Intervall" beginnen. Verzichtet werden muss dagegen auf die hierunter genannten Kapitel, die mit ihrer Fülle an Daten, Überlegungen und Beweisführungen den Rahmen sprengen würden:

Die Umlaufperiode vor dem Ausbruch (The Orbital Period Before Eruption)

Der Anstieg zur Spitzenhelligkeit (The Rise to Peak)

Die Akkretionsrate (Accretion Rate)

Die Natur der Emissionen aus der Nähe des Weißen Zwergs
(The Nature of the Emission From Near the White Dwarf)

Der daran Interessierte möge sich bitte die Originalarbeit bei astro-ph herunterladen.

Mit dem letzten großen Kapitel im dritten Teil wird dann der Höhepunkt erreicht. Dort werfen wir einen Blick weit zurück in die Vergangenheit von T Pyx, erfahren woher dieser Veränderliche kam und wohin ihn seine zukünftige Entwicklung führen wird. Auch dies entstammt [1], deren Autoren nicht nur ihre eigenen Ergebnisse und Überlegungen, sondern auch die ihrer Kollegen aufgreifen und zu einem "konsistenten Bild" zusammen setzen.

Die Aufnahmen zu den Abb. 1 und 2 entstanden auf der IAS-Sternwarte in Hakos (Namibia).

Literaturverzeichnis

[1] Schaefer, B., et al., 2011. The 2011 Eruption of the Recurrent Nova T Pyxidis; the Discovery, the Pre-eruption Rise, the Pre-eruption Orbital Period, and the Reason for the Long Delay, arXiv:1109.0065v1

[2] Lange, T., 2011. Kataklysmische Sterne: Aktivitäten zwischen Februar und April 2011, RB 2011-2, S. 145

[3] Uthas, H., et al., 2010. The orbital period and system parameters of the recurrent nova T Pyx, arXiv:1005.5166v1

[4] Schaefer, B., et al., 2009. The Nova Shell and Evolution of the Recurrent Nova T Pyxidis, arXiv:0906.0933v2

[5] Shore, S. N., et al., 2011. The spectroscopic evolution of the recurrent nova T Pyxidis during its 2011 outburst I. The optically thick phase and the origin of moving lines in novae, arXiv:1108.3505v1

- [6] Diederich, H.-G., 2012. T Pyxidis - eine rekurrente Nova im Ausbruch - Teil 1, Literatur bis zum Ausbruch, RB 2012-2, S. 113 - 119
- [7] Schaefer, B., 2005. A Test of Nova Trigger, *Astrophys.JLett*, 621, L53
- [8] Schaefer, B., et al., 2010. The Nova Shell and Evolution of the Recurrent Nova T Pyxidis, arXiv:0906.0933v2
- [9] Schaefer, B., Collazzi, A., 2010. Novae With Long-Lasting Supersoft Emission That Drive a High Accretion Rate, arXiv:1002.1401v1
- [10] Schaefer, B., 2010. Comprehensive Photometric Histories of All Known Galactic Recurrent Novae, arXiv:0912.4426v1

Hans-Günter Diederich
 Insel Str. 16
 64287 Darmstadt

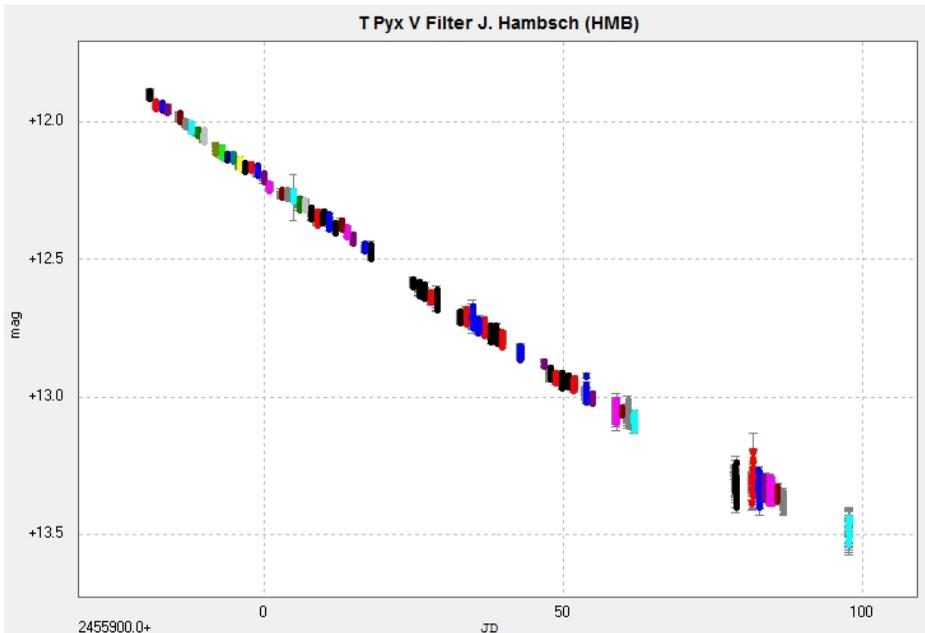


Abb. 3
 Lichtkurven von T Pyxidis, 14.11.2011 bis 10.03.2012, Aufnahmezeitraum der einzelnen Lichtkurven zwischen einer und mehreren Stunden, in den einzelnen Lichtkurven sind keine besonderen Strukturen erkennbar, Sternwarte Josch Hamsch, San Pedro de Atacama, Chile, Bildautor: Josch Hamsch.