

RCB-Sterne im Minimum 2025

Dr. Matthias Kolb

Aus Anlass meiner Beobachtungen der Minima einiger R-Corona-Borealis-Sterne (RCB), habe ich einen Überblick über den Stand der Forschung zu diesen Sternen im Beobachtertreffen der BAV in Sonneberg gegeben. Hier eine kurze Zusammenfassung.

SU Tau

In der ersten Abbildung ist die Lichtkurve von SU Tau auf Basis der Daten der AAVSO (Kloppenborg 2023), inklusive meiner Beobachtungen, dargestellt. Die Daten beinhalten alle Messungen, die in etwa dem V-Bereich entsprechen, also V, CV, TG und die visuellen Beobachtungen. Daher sind die Schwankungen in den Phasen maximaler Helligkeit etwas zu ausgeprägt, aber die Form und Tiefe der Minima wird gut dokumentiert.

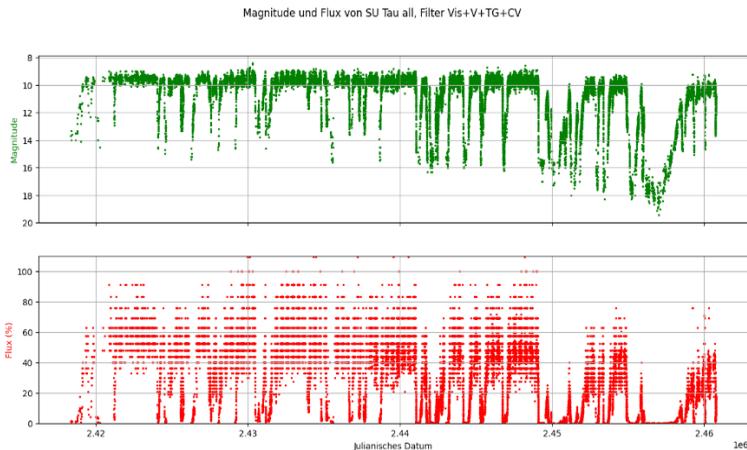


Abb. 1: AAVSO-Lichtkurve (1) von SU Tau für den Zeitraum 1909-2025.

Die untere Kurve zeigt statt der Helligkeitsmagnituden den Flux der Strahlung, also die Anzahl der detektierten Photonen. Da die Magnituden eine logarithmische Funktion des Flusses sind, erscheinen Unterschiede in kleinen Werten „übertrieben“ deutlich. Man sieht das gut an den drei letzten Verdunkelungen 2021, 2023, 2025: Während sie in den Magnituden recht unterschiedlich erscheinen, ist der Flux in allen drei Fällen deutlich unter 5% des Maximalflusses. Dieses Verhalten gilt für die meisten Verdunkelungen aller RCB-Sterne (Crawford 2025).

Vergleich der Minima: SU Tau und Z UMi

Schaut man sich die die Verdunkelungen im Detail an, sieht man, dass sich der Helligkeitsabfall zu Beginn im nahezu linearen Bereich (in den Magnituden) sehr ähnlich verhält.

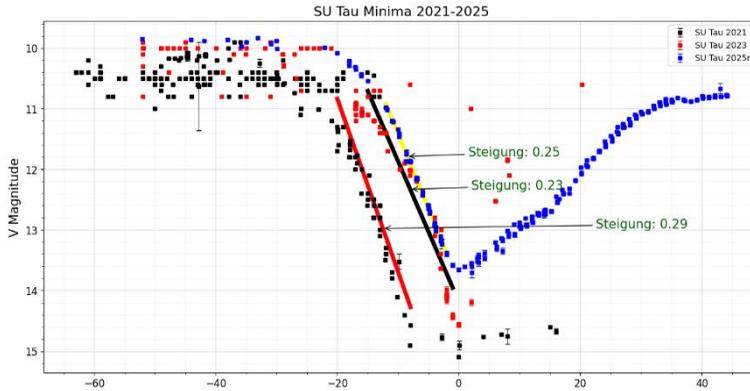


Abb. 2: Minima von SU Tau 2021-2025.

Da das Verdunkelungsverhalten eng mit dem Entstehungsprozess der Kohlenstoff-Staubwolken (siehe unten) verbunden ist, wurden hier detaillierte statistische Analysen an über 160 RCB-Sternen durchgeführt (Crawford 2025). Der Abfall der Helligkeit variiert bei einzelnen RCB-Sternen, aber insbesondere auch zwischen den beobachteten Sternen. So hat SU Tau im Durchschnitt schnellere Verdunkelungen als Z UMi, was man auch in Abbildung 3 für die Minima 2025 sehen kann.

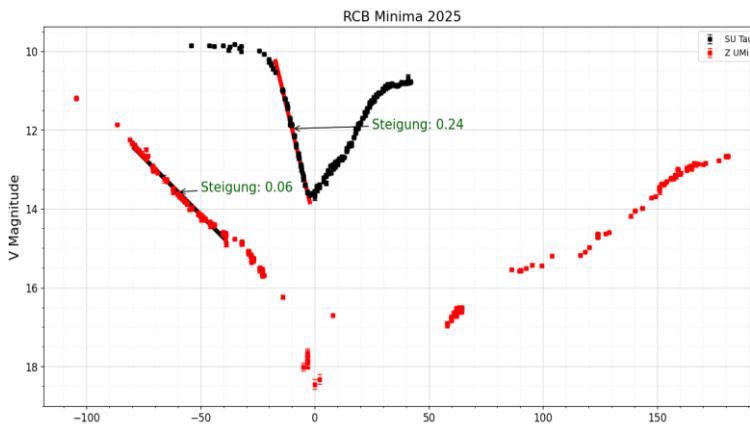


Abb. 3: Minima von SU Tau und Z UMi 2025

AO Her und V0854 Cen

Die beiden weiteren RCB-Sterne im Minimum, die ich beobachtet habe, sind AO Her und V0854 Cen (per Remoteteleskop in Namibia). Die Lichtkurven der Jahre 2020-2025 sind in Abbildung 4 dargestellt.

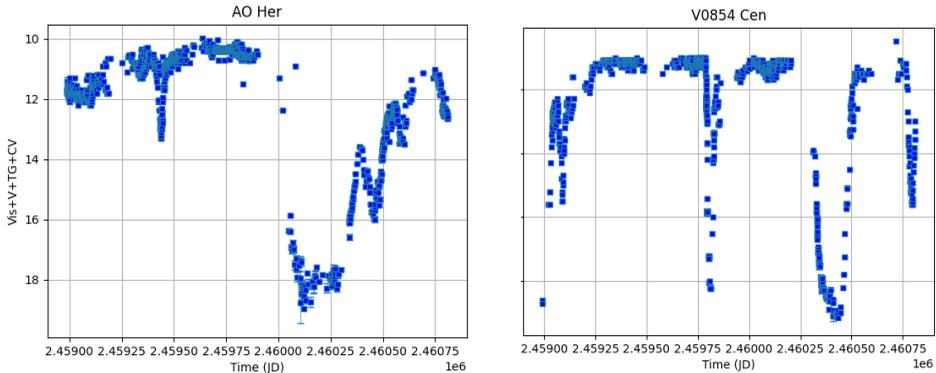


Abb. 4: AO Her und V0854 Cen 2020-2025

Man erkennt bei AO Her auch mal eine kleine Verdunkelung, die aber immer noch unter 20% Restflux liegt, danach eine tiefe, lange Dunkelfase, aus der sich der Stern nur mit Rückschlägen herauskämpfen kann.

Was sind RCB-Sterne?

Mittlerweile sind sich die Forscher wohl weitgehend einig, dass es sich bei den RCB-Sternen um das Resultat eines Mergers zweier weißer Zwerge (WD) handelt: Ein CO und ein kleinerer Helium WD erzeugen einen RCB Stern, der folgende Eigenschaften aufweist:

- Wasserstoffarm (Hydrogen deficient (Hd)), <1 Massenprozent
- Kohlenstoffreich (C/O > 1)
- Etwa 0.9 Sonnenmassen.
- Überriesen (Luminosität), aber starke Verdunkelungen bis 9 Magnituden.
- Breites Temperaturband 3500-8000, teilweise sogar >10000 K. Typisch: 5-7000 K
- Auch außerhalb der Verdunkelungen signifikante Variabilität, zumeist nicht regelmäßig (~40 Tage)
- s-Elemente wie Sr angereichert
- Isotopenauffälligkeiten: ^{13}C geringer als normal, $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ sehr niedrig: ~ 1-10 (Sonne, Erde: ~500)
- IR Excess vorhanden, variiert über lange Zeitskala, nicht mit Verdunkelungen
- Nur etwa 200 in der Milchstraße bekannt
- Lebenszeit der RCB-Phase 10.000-100.000 Jahre

Insbesondere das Isotopenverhältnis $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ wird als Beweis für diese Hypothese angesehen. Oberhalb des CO-Kernes befindet sich die heiße Fusionszone: ^{18}O entsteht aus ^{14}N mit ^4He und anschließendem β -Zerfall des entstandenen ^{18}F . Dazu bedarf es Temperaturen von etwa 10^8 K. Wichtig ist, dass die weitere Reaktion von ^{18}O mit ^4He zu ^{22}Ne und weiter zu ^{25}Mg unterdrückt ist. Die dazu nötigen Temperatur- und Druckbereiche werden in den WD Mergers erreicht, wie Modellierungen zeigen (Schwab 2025, Shiber 2024).

Eine sehr vereinfachte Vorstellung von RCB-Sternen sieht man in Abbildung 5 (vom Autor).

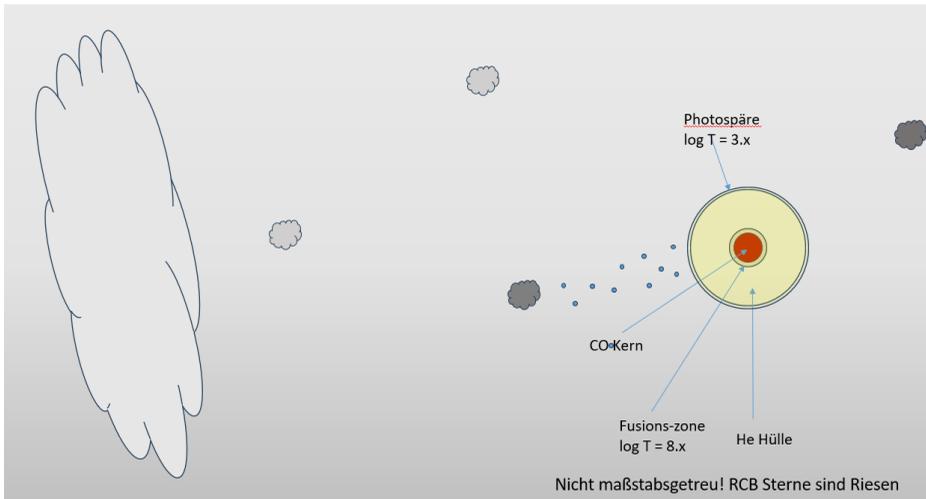


Abb. 5: Vereinfachte Darstellung eines RCB-Sternes und seiner Umgebung (Kolb, 2025). Die kleinen Kreise sind Gasmoleküle, die Wolken Kohlenstoffstaub.

Kohlenstoffüberschuss

Wichtig für die Verdunkelungen ist der Überschuss an Kohlenstoff gegenüber Sauerstoff, wie er auch in C-Sternen (die aber normale Wasserstoffanteile haben) auftritt. Der in der He-Hülle des RCB-Sterns vorhandene Sauerstoff wird in den kühleren Außenbereichen als CO gebunden, der verbleibende Kohlenstoff kann C₂- und andere C-Moleküle bilden. Das sieht man z.B. aus dem Spektrum von SU Tau (Larson 2023) im Vergleich mit dem C-Stern Y CVn („La Superba“) im unteren Bildbereich (Kolb 2023).

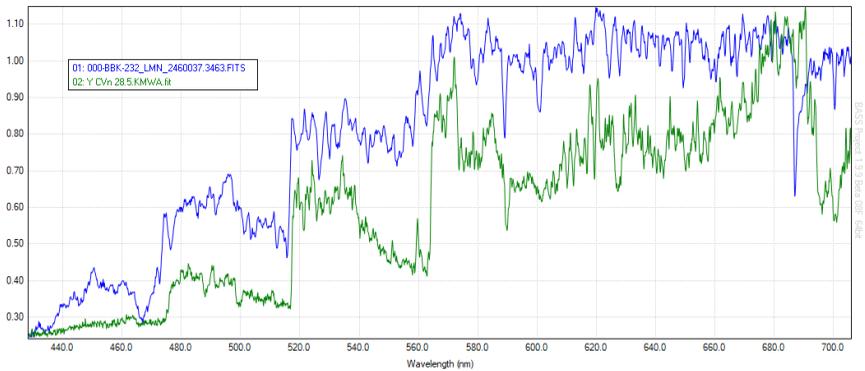


Abb. 6: Spektren von Y CVn (Kolb 2023) und SU Tau (Larson 2023)

SU Tau zeigt deutlich zumindest eine der „SWAN-Banden“ des Moleküls C2 bei 517 nm.

Während der Verdunkelung wandeln sich die Spektren dramatisch und werden von starken Emissionen des ausgestoßenen Gases bestimmt (neutrale und einfach ionisierte Metalle wie Ca, Na).

Wie und wo entstehen die Verdunkelungen

Das ist in der Tat eine schwierige Frage, die auch heute noch nicht wirklich geklärt ist. Dass es sich um Kohlenstoffwolken („Ruß“) handelt, scheint klar. Aber wo genau sie entstehen, wie sie sich bilden und weiter verhalten ist noch Gegenstand der aktuellen Forschung.

Man geht davon aus, dass sie nahe am Stern (etwa 2 Radien entfernt) entstehen (Clayton 1996), obwohl die dortigen Temperaturen keine stabilen Festkörper zulassen sollten. Es muss sich also um Phänomene außerhalb des thermodynamischen Gleichgewichts handeln, wie Schockwellen – erzeugt durch Pulsationen des Sterns. Die sich dann mit Geschwindigkeiten bis einigen Hundert km/s ausbreitenden Wolken werden wieder optisch dünn und damit hellt sich der Stern wieder auf. Aber die Wolken entstehen eher kleinräumig und häufig (ca. alle 50 Tage) als „Puffs“ und bei weitem nicht alle geraten in unsere Sichtlinie zum Stern. Manchmal aber auch mehrere hintereinander, dadurch entstehen die längeren Verdunkelungsphasen. Im Mittel sehen wir etwa eine Verdunkelung pro zwei Jahre, die typische Dauer beträgt knapp ein Jahr und geht 4-5 Magnituden tief. Zu Beginn der Verdunkelung verliert der Stern etwa 1-5% seines Maximalflusses pro Tag (Crawford 2025).

Aber auch weit draußen sind noch Staubwolken im Infraroten detektierbar (de Laverny 2004, Montiel 2018). Diese sind wahrscheinlich die Überbleibsel vieler früherer Verdunkelungen.

Wie die Staubbildung chemisch abläuft, ist auch nicht völlig geklärt. Der Prozess der Rußbildung bei Kohlenstoffsternen (wasserstoffreich!) verläuft über C_2 , Acetylen C_2H_2 , Bezol C_6H_6 und Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAHs) wie z.B. Coronen $C_{24}H_{12}$, die sich dann zu größeren, festen Teilchen verbinden.



Abb. 7: Coronen $C_{24}H_{12}$: Dargestellt sind nur die Einfach- und Doppelbindungen der Kohlenstoffatome. Die 12 Wasserstoffatome sitzen an den äußeren Kohlenstoffen. Somit hat jedes C-Atom 4 Bindungen: Die inneren je eine Doppel- und zwei Einfachbindungen zu benachbarten C-Atomen, die äußeren je eine Doppel- und Einfachbindung zu benachbarten Cs, eine weitere Bindung zu einem Wasserstoffatom.

In der wasserstoffarmen Umgebung der RCB-Sterne ist dieser Prozess vermutlich nicht vorherrschend, obwohl zumindest in AO Her auch Signale von PAHs gefunden wurden (Crawford 2025).

Eine exotische Hypothese

Mark Walker vom Forschungsinstitut Manly Astrophysics vertritt in einem auf Youtube veröffentlichten Vortrag 2024 die These, dass RCB-Sterne dadurch entstehen, dass sich Weiße Zwerge durch kalte partikelreiche Wasserstoffwolken (Hydrogen Snow Clouds) bewegen und dadurch zeitweise verdunkelt werden (Walker 2024). Das ist weit ab vom Mainstream. Mal sehen, ob sich diese Hypothese durchsetzen kann.

Wer sich noch mehr im Detail informieren möchte, dem empfehle ich die Vorträge von Courtney Crawford in Youtube.

Literatur:

- (1) Kloppenborg, B. K., 2023, Observations from the AAVSO International Database, <https://www.aavso.org>
- (2) Crawford, C.L., et. al., MNRAS, Vol 537, 2025
- (3) Schwab, J., The Astrophysical Journal, Vol 885, 2019
- (4) Shiber, S., et. al., MNRAS, Vol 535, 2024
- (5) Larson, M., AVSpec database: <https://apps.aavso.org/avspec/search>, 2023
- (6) Kolb, M., Aufnahme mit GRISM-Spektrometer 2023
- (7) Clayton, G.C., ASP Conference Series, Vol 96, 1996
- (8) de Laverny, P., Mekarnia, D., Astronomy and Astrophysics, Vol. 428, 2004
- (9) Montiel, E.J., et. al., The Astronomical Journal, Vol. 156, 2018
- (10) Crawford, C.L., persönliche Mitteilung, 2025
- (11) Walker, M., <https://www.youtube.com/watch?v=fYC1zyO4AXI>, 2024
- (12) Crawford, C.L., <https://www.youtube.com/watch?v=h3cr449TG4I>, 2024
- (13) Crawford, C.L., <https://www.youtube.com/watch?v=3O5YrzmEbl>, 2024