

# Cepheiden-Lichtkurven ohne Faltung 2: TU Cassiopeiae

Jörg Spelda

In Teil 1 meiner Abhandlung über eine direkte Messung von Lichtkurven bei Cepheiden wurde dies am Beispiel von TX Cygni, einem Cepheiden mit mittlerer Periodenlänge vorgeführt, bei welchem Messungen von mehreren Tage verwendet werden mussten. Als nächstes Objekt wurde TU Cassiopeiae gewählt. Dieser BAV-Programmstern weist zum einen eine besonders kurze publizierte Periode (2.139 Tage) auf, zu anderen handelt es sich um einen doppelt periodischen Cepheiden (Richter & Wenzel, 1984; Malatesta 2005). Hinzu kommt die nördliche Stellung (zirkumpolar), welche eine lange Beobachtungszeit erlaubt.

## Cas TU

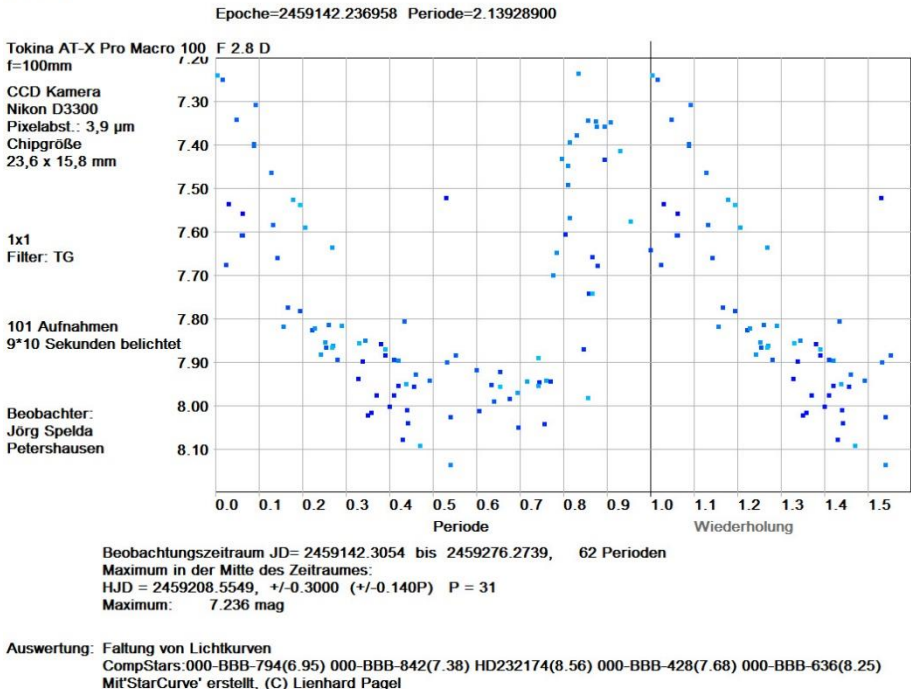


Abb. 1: Mit Starcurve gefaltete Lichtkurve von TU Cas anhand von Messwerten zwischen dem 19.10.2020 und dem 02.03.2021.

Das abnorme Verhalten von TU Cas ist an der gefaltete Lichtkurve (Abb. 1) der Jahre 2020/2021 gut zu erkennen. Eine solche Punktewolke ist sicher nicht als Folge einer ungewöhnlichen Lichtkurve zu interpretieren, sondern offensichtlich auf innerhalb kurzer Zeit erfolgte Periodenänderungen zurückzuführen. Wenn also bei einem Cepheiden

eine direkte und komplette Messung des Maximums an nur einem Tag besonders sinnvoll ist und auch Erfolg verspricht, dann sicher bei TU Cas.

Die fünf Vergleichssterne (Tab. 1) wurden anhand der Vorschläge des Variable Star Plotters (AAVSO, Variable Star Plotter, <https://app.aavso.org/vsp/>, zuletzt geprüft am 29.01.2023) ausgewählt und die dort angegebenen Helligkeiten verwendet. Es ergab sich die Problematik, dass die von den Helligkeiten am besten passenden Vergleichssterne bei einer 200-mm-Optik und APS-C-Sensor nur dann in das Gesichtsfeld passten, wenn TU Cas zentral positioniert wurde, was leider nicht bei allen Aufnahmen der Fall war. Alternativ wurde daher ein zweiter Satz Vergleichssterne geprüft, von denen zwei eine größere Helligkeitsdifferenz als eine Magnitude zu TU Cas aufwiesen, was für Vergleichssterne allerdings eher nicht empfehlenswert ist (Wischniewski 2021, S. 259).

Gaia DR2-Bezeichnung	AUID	weitere Bezeichnung	Set	Helligkeit V (mag)	Genauigkeit V (mag)
Gaia DR2 415901238262557696	000-BBB-794	HD2873	1	6.954	0.100
Gaia DR2 415735624324946816	000-BBB-842	HD3149	1	7.375	0.032
Gaia DR2 395113493474533760	000-BBB-428	HD1458	1	7.676	0.025
Gaia DR2 394693583107248256	000-BBB-636	HD2055	1 und 2	8.248	0.042
Gaia DR2 394852359457920128	000-BBB-557	HD232174	1 und 2	8.610	0.055
Gaia DR2 394809890821645824	000-BBB-661		2	9.004	0.038
Gaia DR2 418837758943061760	000-BBB-678	HD232190	2	9.165	0.028
Gaia DR2 394811746247479808	000-BBB-658		2	10.358	0.001

Tab. 1: Für TU Cas genutzte Vergleichssterne: AAVSO und Gaia DR2-Bezeichnungen, deren Helligkeiten und Genauigkeiten der Helligkeitsangaben.

Die Aufnahmen, welche bei 10 oder 30 Sekunden Einzelbelichtungszeit gewonnen wurden, wurden wie bei Spelda & Wickert (2022a, 2022b) beschrieben, in MuniWin (Motl, MuniWin 2.1.34 (x64), <https://sourceforge.net/projects/c-munipack/files/C-Munipack%202.1%20Stable/2.1.34/C-Munipack-2.1.34-x64.exe/download>, zuletzt geprüft am 25.01.2023) zu Summenbilder von 270 Sekunden Gesamtbelichtungszeit überlagert. Die Helligkeiten von TU Cas wurden zum einen, in Starcurve (Pagel, StarCurve (Period) V 6.21, <https://www.bavastro.eu/phocadownload/download/StarCurve-Package20190201.zip>, zuletzt geprüft am 25.01.2023) über gewichtete Mittelwerte zum anderen mit dem Programm Magreg (Spelda 2021) über lineare Regression errechnet. Für die Auswertung wurden offensichtliche, extreme Ausreisserwerte eliminiert.

Einem Tipp von Volker Wickert folgend, wurde die ISO-Zahl zur weiteren Steigerung der Messgenauigkeit auf 100 gesenkt. Der potenzielle Bereich der Lage des Maximums bei der eigenen gefalteten Lichtkurve wurde herangezogen, um die Lage der künftigen Maxima abzuschätzen. Dabei wurde zunächst weiterhin die Periode des BAV-Circulars genutzt.

Nun begann das Warten auf günstige Nächte. Vom 29.10.-01.11.2022 ergab sich ein erfolgversprechendes Fenster. In dieser Zeit wurden zwei Veränderliche (TU Cas, V0383 Cep) parallel evaluiert, indem im Wechsel für jeden der beiden Sterne ca. 3/4stündige (Laufzeit der LX3 Minitrack) Aufnahmeserien erstellt wurden. Die spätere Auswertung zeigte auch tatsächlich die erhofften Kurvenabschnitte und in zwei der Nächte getroffene, aber nicht komplett mit Messungen abgedeckte Maxima (Abb. 2).

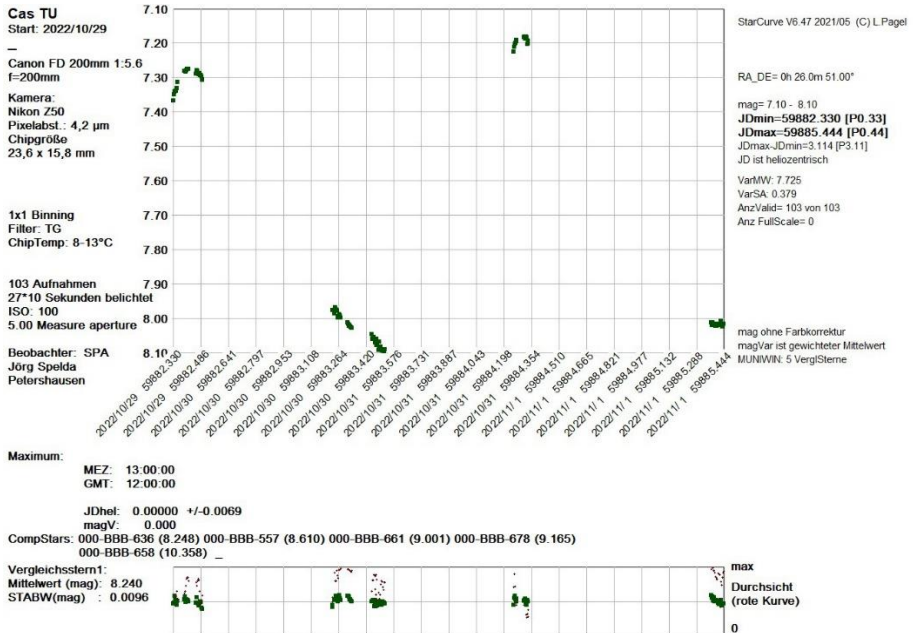


Abb. 2: Evaluationsmessung vom 29.10.-01.11.2022. Zur Auswertung wurde das nähere, dunklere Vergleichsstellenset herangezogen, da nicht alle Aufnahmen TU Cas zentral im Bildfeld hatten.

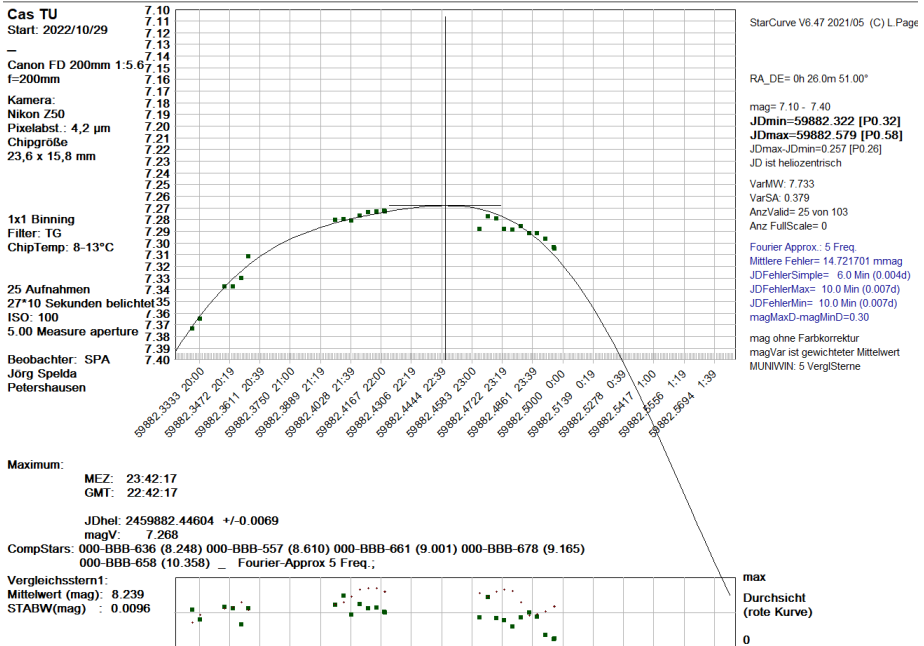


Abb. 3: Messung des Maximums von TU Cas vom 29.10.2022

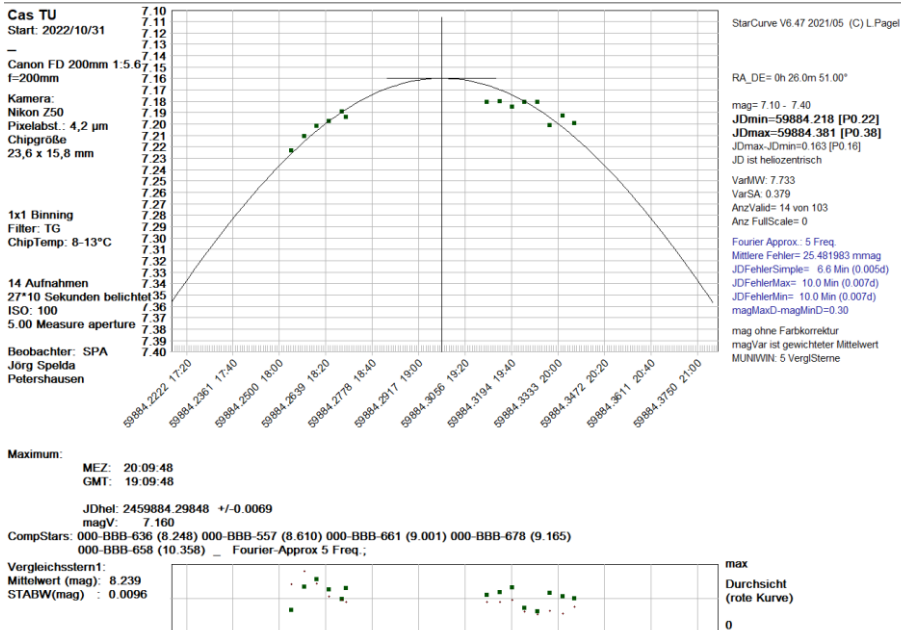


Abb. 4: Messung des Maximums von TU Cas vom 31.10.2022

Bei der Messung mit Muniwin zeigte dieses Programm im Auswahlmenu eine wesentlich kleinere optimale Blende (2.00) an als jene, die mit dem Quick-Photometry-Tool ermittelt wurde (5.00). Mit dieser letztgenannten Blende ergaben sich so saubere Kurvenverlaufe, dass die beiden Maxima trotz der jeweiligen Lucken mit Starcurve ermittelt werden konnten (Abb. 3, 4). Moeglicherweise ist die angegebene Messgenauigkeit aber aufgrund des engen Messbereiches zu hoch ausgefallen. Es ist gut erkennbar, dass beide Maxima unterschiedliche Maximalhelligkeiten zeigen.

Da genau zwei aufeinanderfolgende Maxima gemessen werden konnten lieB sich auch die aktuelle Periodenlaenge bestimmen. Diese betrug rechnerisch 1,852 Tage, was deutlich von dem publizierten Wert von 2,139298 Tagen abweicht. Eine automatische Periodensuche mit Starcurve war mit diesem Datensatz nicht moeglich, da die Maxima sehr unterschiedliche Formen aufwiesen. Manuell war es jedoch moeglich, beide untereinander zu positionieren (Abb. 5). Dabei ergab sich ein aehnlicher Wert (1,885 Tage), wie der rechnerisch ermittelte. Vergleicht man das durch Faltung ermittelte Maximum (Abb. 1) mit den direkt gemessenen (Abb. 3, 4), so ist die deutlich hoehere Messgenauigkeit der Direktmessung (10 min gegenueber 7,2 h) offensichtlich. Eine Direktmessung ist somit im Fall von TU Cas einer Faltung vorzuziehen.

## Cas TU

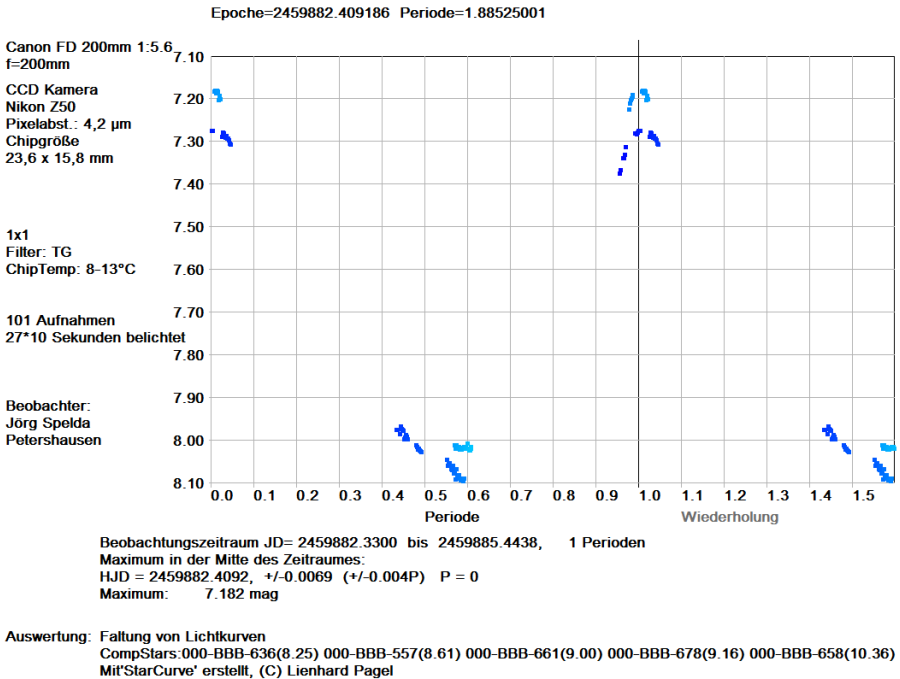


Abb. 5: Manuell gefaltete Lichtkurve von TU Cas anhand der Messungen zwischen dem 29.10.2022 und dem 01.11.2022.

Mit den aus der Messung vom 29.10.2022 abgeleiteten neuen Schätzwerten ließ sich nun eine verbesserte Vorhersage berechnen. Erneut wurde die Geduld auf die Probe gestellt. Erst am 28.12.2022 ergab sich wieder eine einigermaßen klare Nacht um ein potenzielles Maximum. Aufgrund der ungünstigen Wetterlage wurde nur die LX2-Minitrack eingesetzt, was eine Reduzierung der Einzelbelichtungen auf 10 Sekunden erforderte. Die Messung war auch nur über 4,5 Stunden möglich. In der resultierenden Lichtkurve (Abb. 6), kann man zwar einen deutlichen Abstieg registrieren, ein Maximum ist aber nicht klar erkennbar, obwohl die Abschätzung nach der vorherigen Messreihe vermuten ließ, dass die Messung vom 28.12. zum Zeitpunkt des Maximums begann.

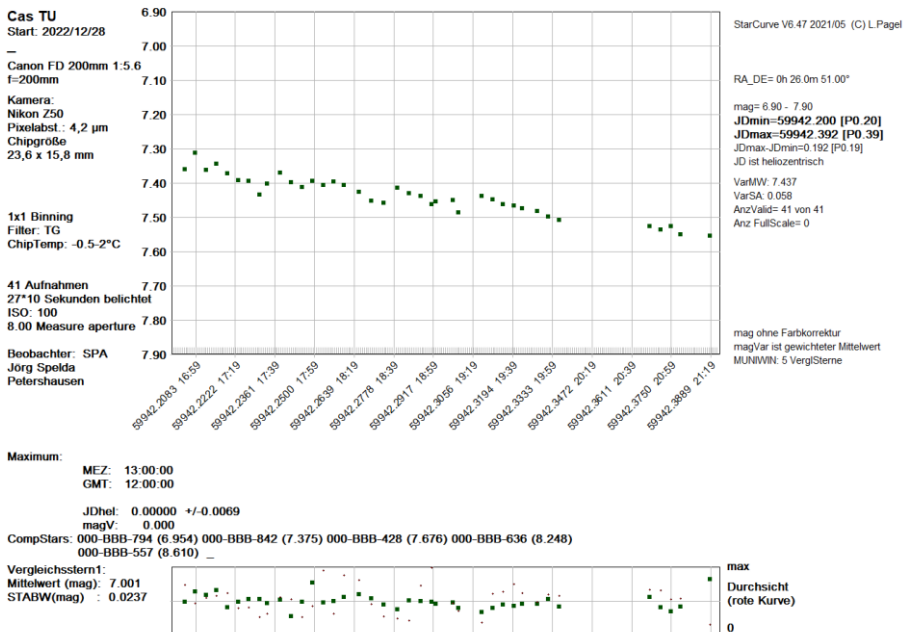


Abb. 6: Lichtkurve der Messung vom 28.12.2022. Es ist ein Abstieg, aber kein Maximum erkennbar. Zum besseren Vergleich wurden die Helligkeiten wie bei der Messung vom 01.01.2023 skaliert.

Vier Tage später, am 01.01.2023 war es endlich so weit. Die Nacht war klar genug, um über knapp 7 Stunden eine gute Lichtkurve messen zu können. Diese ist lediglich durch zwei Phasen von Wolkendurchzügen mit kurzfristiger Bedeckung unterbrochen. Diese Bereiche sind durch die Lücken und stärker schwankenden Messwerte gut erkennbar (Abb. 7). Nach 2,42 h erlaubte die Lage des Beobachtungsortes, aufgrund der umliegenden Gebäude, keine Fortführung der Messungen mehr.

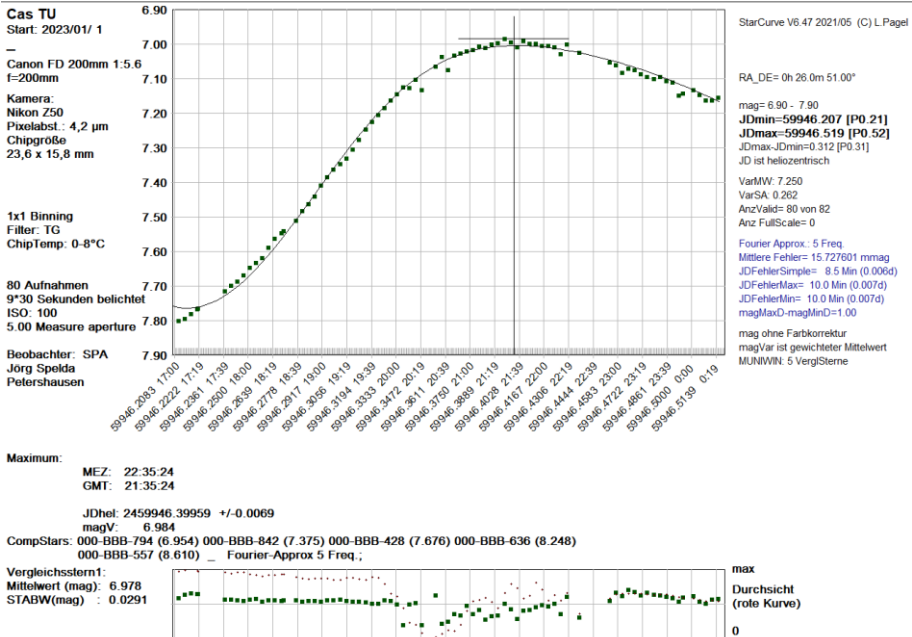


Abb. 7: Auswertung der Lichtkurve von TU Cas vom 01.01. 2023 mit Starcurve anhand einer direkt mit MuniWin erstellten Datei. Die Messung wurde mit Set1 (hellere Vergleichssterne) durchgeführt.



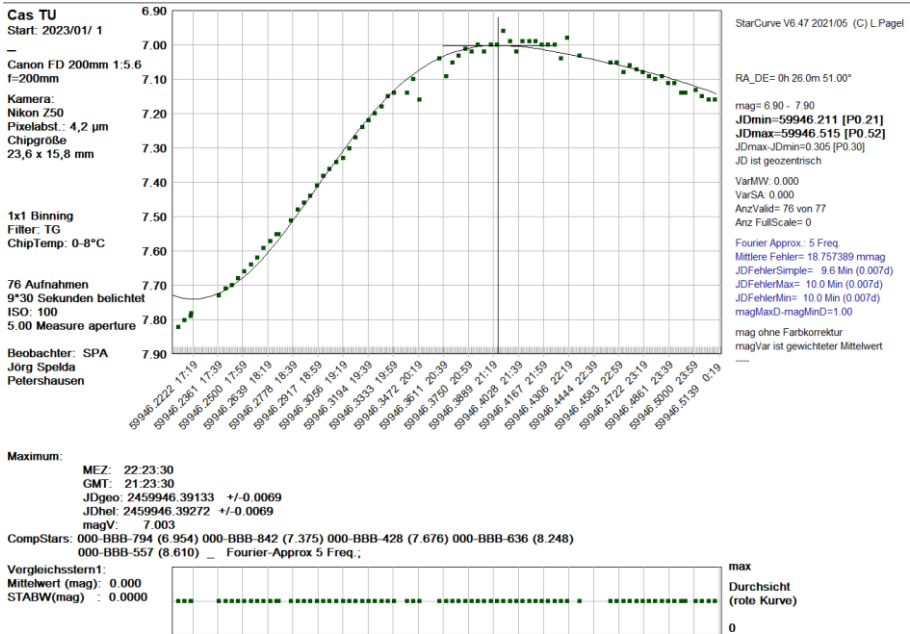


Abb. 8: Auswertung der Lichtkurve von TU Cas mit Starcurve wie bei Abb. 7, aber anhand von JD-mag-Daten, die mit Magreg aus den Muniwin-Daten errechnet wurden.

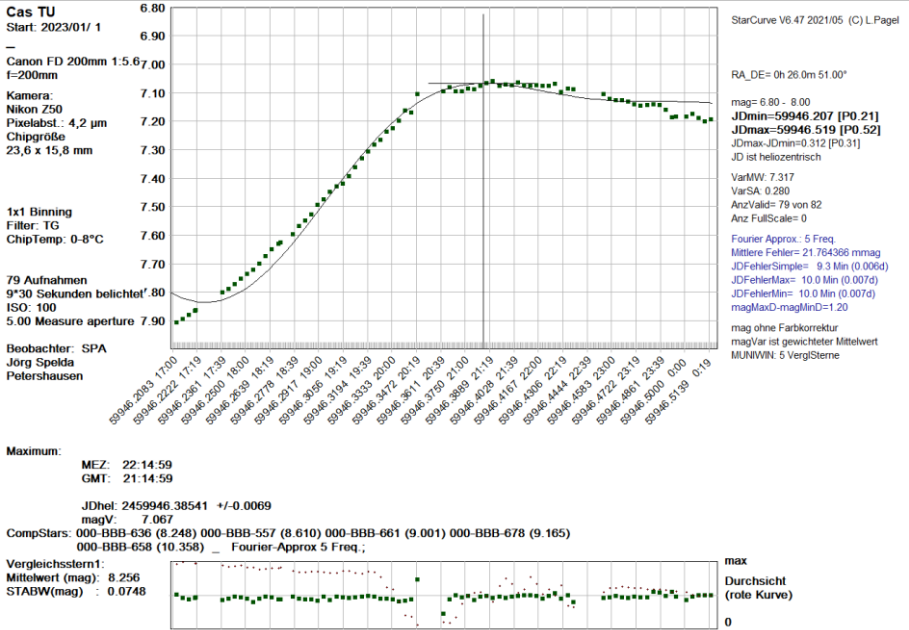


Abb. 9: Wie Abb. 7, jedoch wurde die Messung mit Set2 (dunklere Vergleichssterne) durchgeführt.

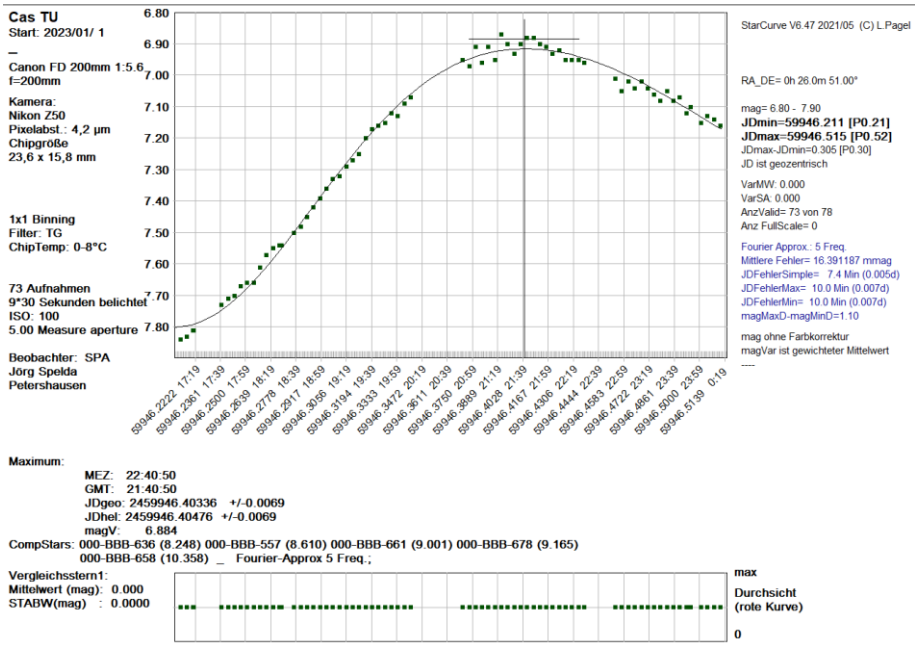


Abb. 10: Wie Abb. 8, jedoch wurde die Messung mit Set2 (dunklere Vergleichssterne) durchgeführt.

Ein Vergleich der Auswertungen mit unterschiedlichen Sets von Vergleichssterne zeigte, dass die Zeitpunkte der gefundenen Maxima bei den mit linearer Regression ermittelten kalibrierten Helligkeiten und der Auswertung mit Starcurve, mit dem hellen Vergleichssterne set ein konsistentes Resultat lieferten (HJD=2459946.4013 +/- 0.0069). Bei der Auswertung des dunkleren Vergleichssterne set mit Starcurve ergab sich hingegen eine Abweichung (HJD=2459946.3854 +/- 0.0069), die knapp außerhalb der Standardabweichung lag. Dies zeigt, dass es vorteilhafter ist, die Helligkeiten über lineare Regression zu berechnen, wenn eine größere Helligkeitsdifferenz des Veränderlichen zu den Vergleichssterne besteht. Visuell kann man erkennen, dass das Maximum bei dunklerem Vergleichssterne set bei linearer Regression besser erkennbar ist, aber auch, dass die Werte dabei mehr streuen. Die Starcurve-Auswertungen zeigten in beiden Fällen einen etwas geringeren mittleren Fehler. Letztlich sind die Unterschiede beider Methoden zur Helligkeitsbestimmung allerdings gering. Vor allem, wenn optimale Vergleichssterne (nach den Kriterien von Wischnewski 2021, S. 259) gewählt wurden, ist kaum ein Unterschied feststellbar.

Die lineare Regressionsrechnung weist jedoch einen weiteren Vorteil auf: es lässt sich für jede vermessene Aufnahme eine Messgenauigkeit ermitteln. Dies erlaubt es auf einfachem Wege einzelne Aufnahmen von der Auswertung auszuschließen, wenn deren Messgenauigkeit auffällig abweicht (z.B. größer als dreimal die mittlere Messgenauigkeit). Allerdings kann man solche Ausreißer bei einer kontinuierlichen Lichtkurve auch visuell leicht erkennen und bei Muniwin und Starcurve per Mausclick

ausschließen. Auch bei Muniwin wird die Messgenauigkeit der einzelnen Messungen angezeigt. Daher stellt sich die Frage, ob die mathematisch exaktere Berechnung den Mehraufwand der Regressionsrechnung rechtfertigt.

Anhand des am 01.01.2023 ermittelten Maximums zeigte sich auch, dass die Messung vom 28.12.2022 nach dem Maximum erfolgt sein musste (errechnet: 2459942.1291 mit  $E_0 = 2459946.4013$ ). Eine Rückrechnung der Ende Oktober gemessenen Maxima anhand des zuletzt gemessenen Maximums ergab weder mit der publizierten noch mit der neu ermittelten Periode passende Vorhersagen. Letztlich muss man TU Cas wohl „auf gut Glück“ messen, wann immer lange Beobachtungszeiten möglich sind.

Hiermit ist bewiesen, dass sich auch die Maxima von Cepheiden in einer Nacht direkt messen lassen. Voraussetzung ist allerdings eine vergleichsweise kurze Periode und lange Nächte, wie sie vor allem im Winter gegeben sind. Dabei gilt für den Bearbeiter die 3-G-Regel: Geschick (bei der Wahl der Methodik), Glück (ein günstiges Maximum zu erwischen) und Geduld (lange genug warten zu können bis sich die Gelegenheit für eine erfolgversprechende Messung ergibt).

Es bleibt nun zu klären, wo die Grenzen der hier beschriebenen Methodik liegen. Cepheiden mit Periodenlängen von 2-4 Tagen sind damit sicher auch messbar, doch wo die Grenze liegt, wäre noch herauszufinden. Auch der Verlauf des Maximums dürfte den Erfolg beeinflussen. Spitze Maxima wie bei TX Cyg dürften leichter zu messen sein als flache, wie sie bei DCEPS-Sternen auftreten.

Bei Sternen mit rascher oder unregelmäßiger Periodenänderung bzw. mehren Schwingungen, wie bei TU Cas unter den BAV-Programmsternen, dürfte die Direktmessung sogar die einzige zulässige Messmethode darstellen. Daher bleibt zu hoffen, dass künftig weitere Messungen dieser Art erfolgen. Die offenbar ständig wechselnde Periode macht Vorhersagen jedoch schwierig, wenn nicht gar unmöglich.

## Danksagung

Ohne die Diskussionen mit Volker Wickert wäre die eingesetzte Messmethodik nicht auf dem heutigen Stand. Ihm sowie weiteren, ungenannten Forummitgliedern, mit denen ich verschiedentlich tangierende Themen diskutiert habe, sei ganz herzlich gedankt.

## Literaturverzeichnis

- Malatesta, K (2005): TU Cassiopeiae. Online verfügbar unter [https://www.aavso.org/vsots\\_tucas](https://www.aavso.org/vsots_tucas), zuletzt geprüft am 25.01.2023
- Richter, G.; Wenzel, W. (1984): Cuno Hofmeister. Veränderliche Sterne. 2. Auflage. 335 S.
- Spelda, J. (2021): Magreg – ein EXCL-VBA-Programmpaket zur Berechnung kalibrierter Helligkeiten. – BAV Rundbrief: 2-2021, S. 92-106.
- Spelda, J.; Wickert, V. (2022a): SDSL/DSL/Photometrie von Veränderlichen mit Fotoobjektiven – ein Update [Teil 3]. – BAV Rundbrief: 1-2022, S. 54-63.
- Spelda, J.; Wickert, V. (2022b): SDSL/DSL/Photometrie von Veränderlichen mit Fotoobjektiven – ein Update [Teil 4]. – BAV Rundbrief: 2-2022, S. 115-129.
- Wischnewski, E. (2021): Astronomie in Theorie und Praxis Kompendium und Nachschlagewerk mit Formeln, Fakten Hintergründen. 9. Aufl. 3 Bände. Kaltenkirchen: Selbstverlag.