

BM Orionis

Verbesserte Elemente und Analyse von Lichtkurvenveränderungen New Elements and Analysis of Light Curve Changes

Dieter Husar

Abstract:

BM Ori is a remarkable eclipsing binary star in the Trapezium Cluster of the Orion Nebula (θ^1 Orionis B). Significant changes in the shape of the light curve at the primary minimum were observed over a period of just a few years between 1968 and 2011. To obtain a complete light curve, the star was monitored under optimal conditions from September 2025 to end of February 2026 over 40 nights (total observation time approximately 150 hours) in the CV band, in R-/V-/B-bands and with narrowband filters. The 2025/2026 results were compared to the last known precise observations from 2011. No further significant light curve changes are evident. Various results from the modeling of the system using the BinaryMaker3 software are discussed. From the observations, revised elements could be derived with improved accuracy: $E_0=2460990.483$ with $P=6.470559 \pm 0.000015$ d.

Zusammenfassung:

BM Ori ist ein bemerkenswerter Bedeckungsveränderlicher im Trapez-Cluster des Orionnebel (θ^1 Orionis B). An diesem Stern wurde in wenigen Jahren zwischen 1968 und 2011 eine deutliche Veränderung der Form der Lichtkurve im Hauptminimum beobachtet. Zur Beobachtung der kompletten Lichtkurve wurde der Stern unter optimalen Beobachtungsbedingungen ab September 2025 bis Ende Februar 2026 in 40 Nächten (insgesamt ≈ 150 Stunden Beobachtungszeit) sowohl im CV-Band als auch in den R-/V-/B-Bändern und mit Schmalbandfiltern beobachtet. Die Beobachtungen aus 2025/2026 wurden mit den letzten bekannten präzisen Beobachtungen aus 2011 verglichen. Signifikante Änderungen in der Lichtkurve wurden nicht gefunden. Verschiedene Ergebnisse der durchgeführten Modellierung des Systems mittels der Software BinaryMaker3 werden diskutiert. Aus den Beobachtungen konnten revidierte Elemente mit verbesserter Genauigkeit abgeleitet werden: $E_0=2460990.483$ mit $P=6.470559 \pm 0.000015$ d.

1) Einleitung

BM Orionis ist ein bedeckungsveränderlicher Stern (Typ EA = Algol-Typ) im Trapez-Cluster des Orionnebel (θ^1 Orionis B). Das Ungewöhnlichste an BM Ori ist, dass die Bedeckungen ungewöhnlich lang und tief sind – weit tiefer als man für eine bloße Sternbedeckung erwarten würde. Dies wurde damit erklärt, dass einer der Begleiter von einer zirkumstellaren Scheibe umgeben ist. Diese Scheibe ist es, die den Hauptstern periodisch bedeckt – ein seltenes und faszinierendes Phänomen.

Als Mitglied des Trapez-Clusters ist BM Ori ein sehr junges System („nur“ ca. 1–2 Millionen Jahre alt), was die Existenz einer noch vorhandenen zirkumstellaren Scheibe erklärt. Es befindet sich noch in der Frühphase der Sternentwicklung.

Die Lichtkurve zeigt einen charakteristischen, langsamen Helligkeitsabfall und Helligkeitsanstieg, typisch für die Bedeckung durch eine ausgedehnte, staubhaltige Scheibe – ähnlich wie beim berühmten Epsilon Aurigae, nur in einem viel jüngeren System. Die Umlaufperiode beträgt etwa 6.47 Tage. [1-4]

2) Allgemeine Angaben

- Entdecker der Veränderlichkeit: Hermann Goos (Hamburger Sternwarte, 1918) [5]
- bekannte Alias-Namen [1-4]: θ^1 Ori B, HD 37021, Brun 595, Parenago 1863
- Sechsfachsystem (wir sehen hauptsächlich den jungen Begleiter eines massereichen Hauptsterns)
- Instabilität des Systems (Allen et al.) [6][7]
- Beobachtungen mit adaptiver Optik am LBT und Magellan-Teleskop (Close et al.) [8]
- Veränderungen der Lichtkurve zwischen 1968 und 2011: Form und Dauer des Minimums (Windemuth) [9],
- über Flares wurde berichtet (Bondar et al.) [10]

3) Photometrische Beobachtungen

Beobachtungsbedingungen:

- Zeitraum: September 2025 bis Februar 2026, 40 Nächte (~150 Stunden)
- Filter: Luminanz (CV-Band), RGB, Schmalbandfilter (H α , OIII)
- Teleskope: Remote-Teleskope der IAS in Namibia (10"- und 12"-Newton, f/4)
- Kamera: Monochromatische CMOS-Kamera (QHY268)
- Belichtungszeiten: 1,5–2 Sekunden (L), 6–10 Sekunden (RGB), 60 Sekunden (SB)
- Datenmenge: Bis zu 50 GB/Nacht

Besondere Herausforderungen:

- Sättigungsgrenze: BM Ori (ca. 8 mag) und helle Nachbarsterne erforderten kurze Belichtungszeiten bei 1x1 binning
- Wetterbedingungen: Böiger Wind führte zu Unterbrechungen der Beobachtungen.
- Referenzsterne: Ensemble von fünf Referenzsternen (AAVSO/APASS-Katalog) zur Erhöhung der Messgenauigkeit.

Die Beobachtungen und Auswertungen erfolgten unter den gleichen Bedingungen wie bereits in [11] und [12] dokumentiert.

4) Ergebnisse / Gesamt-Lichtkurven (LRGB-Filter)

- Lichtkurven: Die LRGB-Messwerte zeigen auch weiterhin *keine* ungewöhnlichen Lichtschwächungen (über die Ergebnisse bis November 2025 wurde bereits in meinem letzten Rundbriefartikel berichtet) [11]
- Präzision: Die Fit-Residuen im Minimum betragen 0,011–0,015 mag (ungebinnt) bzw. 0,006–0,009 mag (3-fach gebinnt)
- Trotz differentieller Photometrie sind kleine systematische Helligkeitsdifferenzen von Nacht zu Nacht erkennbar. Dies ist nicht überraschend, da eine Transformation der Helligkeiten unter Berücksichtigung der Extinktion nicht durchgeführt wurde. Die so entstandenen Differenzen werden mit ≤ 0.05 mag abgeschätzt.
- Vergleich mit MOST-Daten (2011) [13]: Die Residuen der aktuellen Messungen entsprechen ungefähr denen der MOST-Satellitenbeobachtungen (0,012 mag), was den direkten Vergleich der Lichtkurven des Hauptminimums erlaubte.

- Auffällig ist das Fehlen des Nebenminimums im B-Band, während es im R-Band noch eine Andeutung gibt. Die Erklärung liefert die Modellierung: siehe unter Punkt 6.

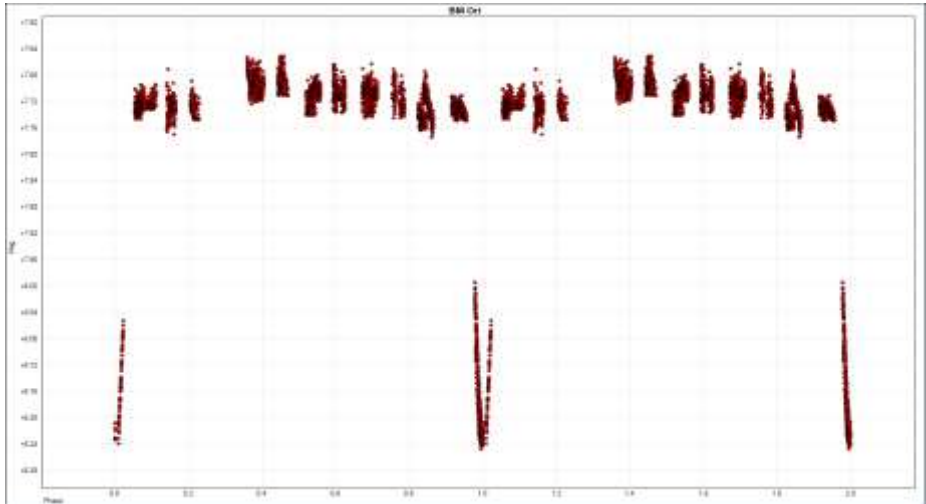


Abb. 1: Lichtkurve von BM Ori im R-Band

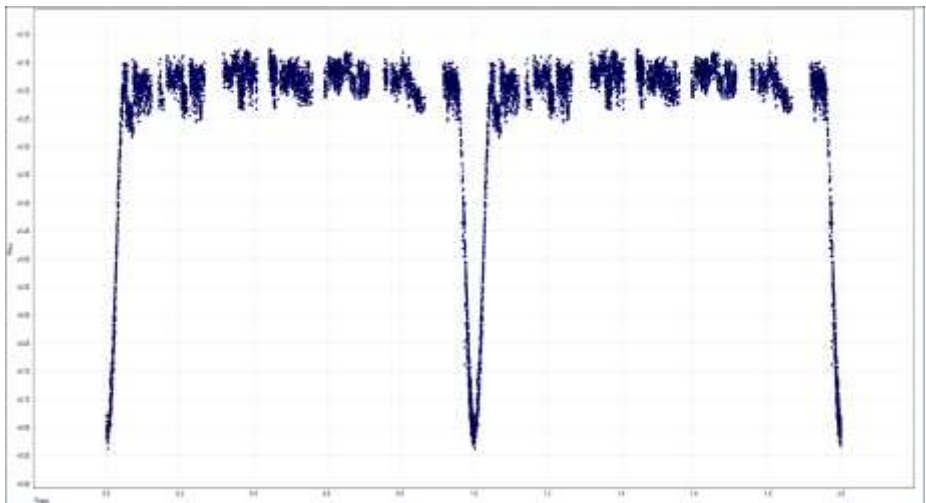


Abb. 2: Lichtkurve von BM Ori im B-Band

Alle Daten wurden zur AAVSO International Database [14] hochgeladen und stehen dort online zur Verfügung. Dort sind die Daten allerdings unselektiert und enthalten

auch Messwerte, bei denen BM Ori in die Sättigung überging. Ca. 20% der Messdaten, die aus Aufnahmen stammen, in denen BM Ori im jeweiligen Filter gesättigt erschien, wurden für die hier vorgestellten Lichtkurven eliminiert.

Vergleicht man die im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen Lichtkurven mit der auf MOST-Daten beruhenden Lichtkurve (Fig. 1 in [9]), so kann man feststellen, dass das Nebenminimum bei Phase=0.5 auch schon 2011 nicht sehr ausgeprägt war.

5) Ergebnisse / Lichtkurven der Hauptminima

- Konstante Phase: wie bereits in den MOST-Daten von 2011 [13] ist auch aktuell keine signifikante konstante Phase im Minimum mehr nachweisbar.
- Vielmehr scheint gegenüber den MOST-Daten ein spitzeres Minimum angedeutet.
- Asymmetrie: Kleine Verschiebungen der Minimumszeiten in verschiedenen Filtern deuten auf eine geringe Asymmetrie hin.

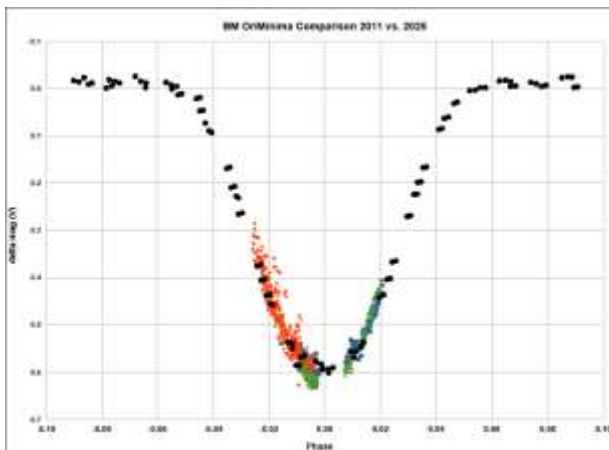


Abb. 3: Vergleich MOST-Daten 2011 (•) mit V-Messungen des Autors von BM Ori [12]

In der Literatur finden sich verschiedene Elemente von BM Ori (Hauptminimum). Zur Vorhersage können die Elemente aus dem VSX zwar noch verwendet werden, aber eine signifikante Verspätung von 30-40 Minuten kann aktuell beobachtet werden.

VSX [2]	GCVS [1]	Krakau [16]
2455548.738	2440265.343	2452501.12
6.4705315	6.470525	6.470531

Tabelle 1: BM Ori Elemente (Literatur)

Aus den Beobachtungen konnten revidierte Elemente mit verbesserter Genauigkeit abgeleitet werden:

$$E_0 = 2460990.480 \pm 0.003 \text{ (HJD)}$$

$$P = 6.470559 \pm 0.000015 \text{ d}$$

6) Modellierung der Lichtkurven mit BinaryMaker3 (BM3)

BinaryMaker3 ist eine Software [16], die der Modellierung von Doppelsternsystemen auf Basis einer Lichtkurve dient. Vorteilhaft ist, dass im vorliegenden Fall Lichtkurven in verschiedenen Bändern des Spektrums zur Verfügung stehen: B, V, R.

Als Grundlage der BM3-Modellierung wurden folgende Systemparameter aus der Literatur übernommen und als Fixpunkte verwendet. Diese Werte wurden nicht frei gefittet, sondern dienten als Randbedingungen (Tabelle 2):

Parameter	Symbol	Wert	Quelle
Spektraltyp Primär	–	B3	Literatur
Temperatur Primär	T1	~ 19 000 K	Spektraltyp (B3)
Radius Primär	R1	0.085 a	Windemuth (2013) [9]
Außenradius Scheibe	R2''	0.25 a	Windemuth (2013) [9]
Massenverhältnis	q	0.31	Literatur
Inklination	i	~ 89°	Windemuth (2013) [9]
Scheibendicke (Halbhöhe)	Δ	0.0282 a	Windemuth (2013) [9]

Tabelle 2: Basiswerte der zur Modellierung verwendeten physikalischen Parameter aus der Literatur

BM Orionis ist ein Bedeckungsveränderlicher, bei dem der Begleiter von einer opaken Scheibe umgeben ist. BinaryMaker 3 (BM3) verfügt zwar über einen Disk-Modus, dieser ist jedoch nach Aussage der Entwickler eine sehr grobe Näherung ("latitude cutoff"), die für dieses System nicht geeignet ist.

Die Scheibe wurde daher durch zwei Näherungen simuliert:

(1) THIRD_LIGHT (L3) als konstanter Hintergrundfluss: Dieser Parameter repräsentiert den Fluss der Scheibe selbst, der auch im tiefsten Minimum sichtbar bleibt. Da die Scheibe im R-Band mehr Fluss beiträgt als im B-Band (kühlere Scheibe strahlt mehr im Roten), ist $L3(R) > L3(B)$ – dies ist konsistent mit einer Scheibentemperatur von einigen 1000 K. Dieser Unterschied liefert einen indirekten Hinweis auf die Scheibentemperatur.

(2) Reduzierte Inklination: Bei $i = 89^\circ$ (physikalischer Wert aus der Literatur) berechnet BM3 eine totale Bedeckung mit flachem Minimum. Da die Beobachtungen kein flaches Minimum zeigen – konsistent mit MOST-Satellitendaten von 2011 – wurde i auf 82.6° reduziert. Dieser Wert ist kein physikalischer Parameter, sondern ein Fitting-Trick zur korrekten Wiedergabe der Minimumform.

Die folgende Tabelle 3 zeigt die verwendeten BM3-Parameter für beide Bänder. Parameter, die physikalisch aus den Messungen abgeleitet werden konnten, sind entsprechend gekennzeichnet.

Parameter	B-Band	R-Band	Physikalisch?	Bemerkung
WAVELENGTH	4 500 Å	7 000 Å	Ja ✓	Filterbereich
TEMPERATURE_1	19 000 K	19 000 K	Ja ✓	Konsistent B+R
TEMPERATURE_2	4 500 K	4 500 K	Ja ✓ (R-Band)	Aus Nebenminimum R
R1_BACK	0.09	0.09	Ja ✓	Nach Windemuth
R2_BACK	0.23	0.23	Näherung	Scheibendurchmesser
INCLINATION	82.6°	82.6°	Nein *	Modell-Trick
THIRD_LIGHT	1.25	1.42	Nein *	Scheiben-Proxy
LIMB_1	0.35	0.25	Ja ✓	R < B physikalisch korrekt
LIMB_2	0.6	0.5	Ja ✓	R < B physikalisch korrekt
REFLECTION_1/2	0.4 / 0.4	0.4 / 0.4	Näherung	Symmetrisch angenähert
MASS_RATIO	0.31	0.31	Ja ✓	Aus Literatur

Tabelle 3: Fit-Parameter der BinaryMaker3 Modelle im B- & R-Band

* Der physikalisch korrekte Wert der Inklination ist $i \approx 89^\circ$ (Windemuth) [9]. In BM3 wurde $i = 82.6^\circ$ verwendet, um die totale Bedeckung zu unterdrücken, die BM3 bei fehlendem Scheibenmodell fälschlicherweise berechnet. THIRD_LIGHT > 1 dient ebenfalls als Kompensation für den Beitrag einer Scheibe.

Physikalisch abgeleitete Parameter:

- Der Vergleich der Lichtkurven im R- vs. B-Band zeigt deutliche Unterschiede, die durch die sehr unterschiedliche Temperatur der beiden Komponenten verursacht sind.

- Temperatur des Primärsterns (T1)

T1 = 19 000 K wurde aus dem Spektraltyp B3 abgeleitet und ist in beiden Bändern konsistent. Er wurde als Fixpunkt verwendet und nicht variiert.

- Effektive Temperatur der Scheibe (T2) – abgeleitet aus dem R-Band

Im B-Band (4500 Å) ist kein Nebenminimum beobachtbar. Dies ist physikalisch erwartet und lässt sich quantitativ durch die Planck-Funktion begründen: Beim Nebenminimum (Phase 0.5) wird der Hauptstern (1) von Stern 2 bzw. der Scheibe bedeckt. Die Tiefe dieses Minimums ist direkt proportional zum Flussanteil der Scheibe am Gesamtsystem – und dieser Anteil ist stark wellenlängenabhängig:

B-Band (440 nm): $B_\lambda(4500 \text{ K}) / B_\lambda(19 \text{ 000 K}) \approx 0.04 \rightarrow$ Scheibe trägt ~2–4% bei

R-Band (700 nm): $B_\lambda(4500 \text{ K}) / B_\lambda(19 \text{ 000 K}) \approx 0.18 \rightarrow$ Scheibe trägt ~10–15% bei

(mit B_λ aus der Planck-Funktion (spektrale Strahlungsdichte) bei einer bestimmten Wellenlänge λ) Die Scheibe ist im R-Band also etwa viermal so hell relativ zu Stern 1 wie im B-Band. Im B-Band ergibt sich eine Minimumtiefe von nur $\sim 1\text{--}3\%$, die im Rauschen verschwindet. Im R-Band ist eine deutliche Delle von $\sim 8\text{--}12\%$ zu erwarten und ist auch in den Beobachtungen angedeutet.

Das Verschwinden des Nebenminimums im B-Band bei gleichzeitiger Sichtbarkeit im R-Band bestätigt das extreme Temperaturverhältnis T_1/T_2 und ist eine wichtige Konsistenzprüfung des Modells. $T_2 = 4500\text{ K}$ aus dem R-Band kann daher als physikalisch zuverlässiger abgeleiteter Wert gelten.

- Randverdunklung (Limb Darkening)

Die Limb-Darkening-Koeffizienten sind physikalisch korrekt wellenlängenabhängig: Im R-Band sind die Werte kleiner als im B-Band (LIMB_1: 0.35 vs. 0.25; LIMB_2: 0.60 vs. 0.50). Dies entspricht dem bekannten physikalischen Gesetz der Randabdunkelung – kürzere Wellenlängen zeigen stärkere Abdunkelung. Die gewählten Werte sind damit physikalisch begründet und aus dem Modell-Fitting bestätigt.

- Abstieg/Anstieg im (Ingress/Egress-Asymmetrie) des Hauptminimums

In den Beobachtungsdaten beider Bänder zeigt das Hauptminimum eine deutliche Asymmetrie: Der Ingress (Abdunkelung beim Eintritt hinter die Scheibe) verläuft steiler als der Egress (Wiederaufhellen nach dem Austritt). Der Egress dauert messbar länger. Auch die ToM zeigen entsprechende Änderungen zwischen B- und R-Filter.

Physikalische Interpretation: Diese Asymmetrie ist kein Messfehler, sondern eine reale Eigenschaft der Scheibe. Sie ist konsistent mit früheren Beobachtungen (MOST-Satellitendaten 2011) [9] und tritt in beiden Filterbändern identisch auf, was ihre physikalische Natur bestätigt.

Als Ursache wird eine inhomogene Scheibenstruktur angenommen: Durch den Gasstream vom Primärstern (der seinen Roche-Lobe berührt oder annähernd füllt) wird auf einer Seite der Scheibe kontinuierlich Material aufgetragen. Dies führt zu einer verdickten, dichteren Scheibenregion auf der Ingress-Seite und einer diffuseren, transparenteren Region auf der Egress-Seite. Der Gasstream trifft die Scheibe bevorzugt an einem bestimmten Azimutwinkel, was eine permanente strukturelle Asymmetrie erzeugt.

Diese Asymmetrie ist mit BM3 nicht reproduzierbar. Versuche, sie durch Spots auf der Scheibe zu simulieren, scheitern daran, dass der hohe THIRD_LIGHT-Wert den Einfluss der Scheibe auf die Lichtkurve so stark dämpft, dass selbst extreme Spot-Parameter keinen messbaren Effekt zeigten. Eine korrekte Modellierung erfordert einen dedizierten Scheibencode, wie den von Windemuth [9] verwendeten.

- Eine klare Bestätigung für die weitere fortschreitende Abnahme der opaken Wolke um den Sekundärstern konnte nicht erfolgen. Dazu wären weitere Beobachtungen der Hauptminima erforderlich gewesen, die aber leider wegen ungünstiger Witterungsbedingungen im ersten Quartal 2026 nicht stattfinden konnten.

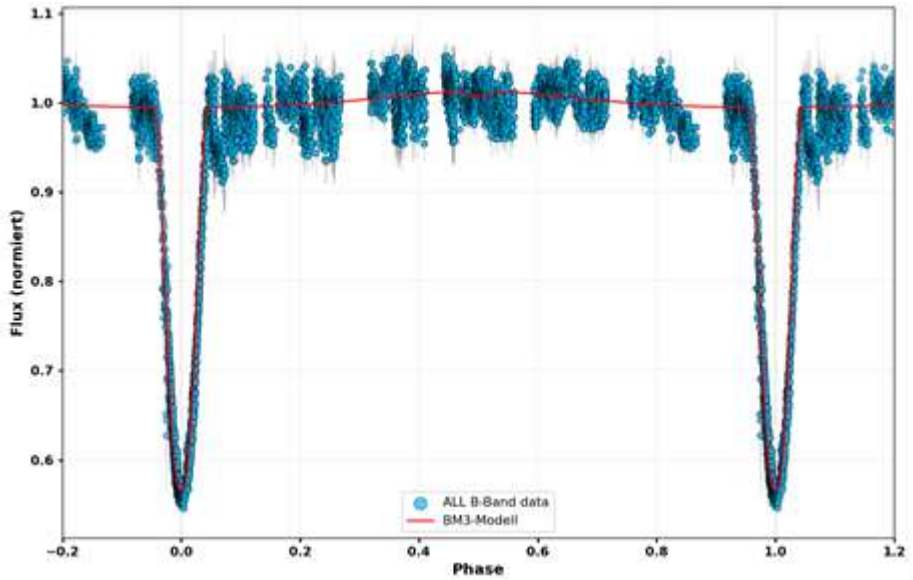


Abb. 4: BM3-Simulation der B-Band-Lichtkurve (hier mit Messwerten aus 2025/2026)

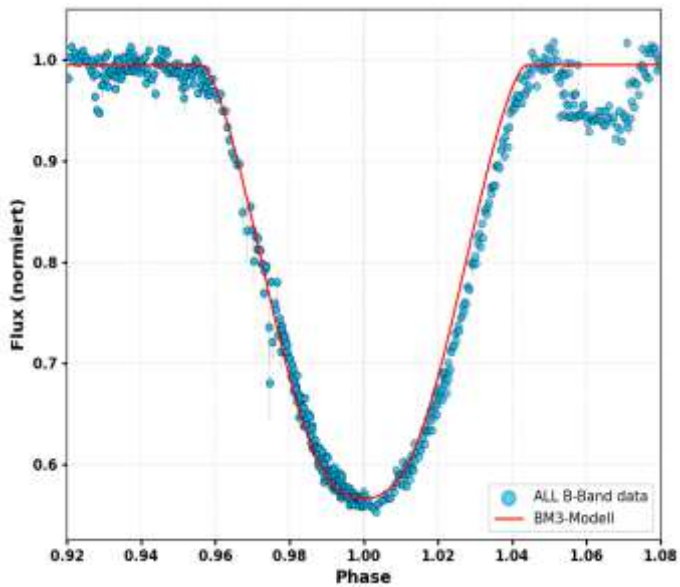


Abb. 5: Zoom auf das Hauptminimum in der BM3-Simulation der B-Band-Lichtkurve

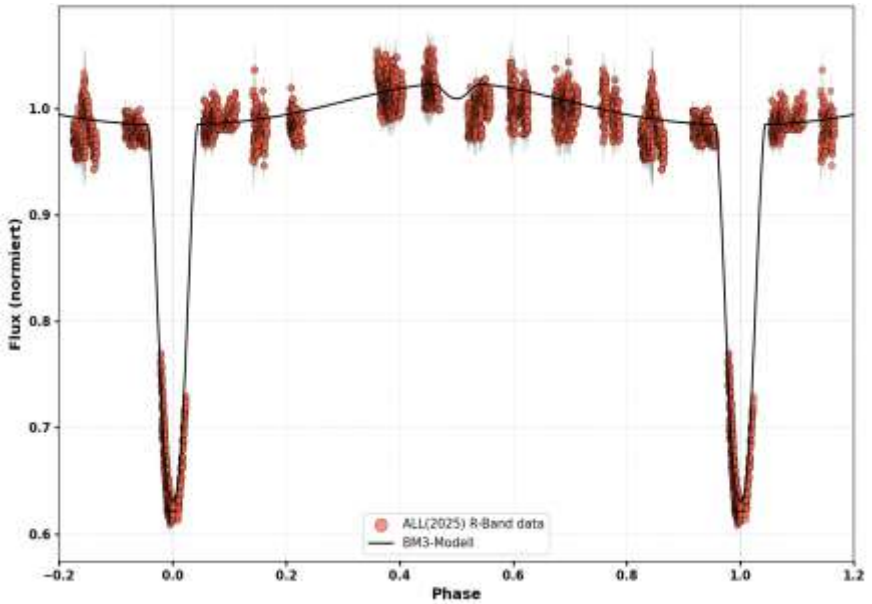


Abb. 6: BM3 Simulation der R-Band Lichtkurve (hier nur mit 2025er Messwerten)

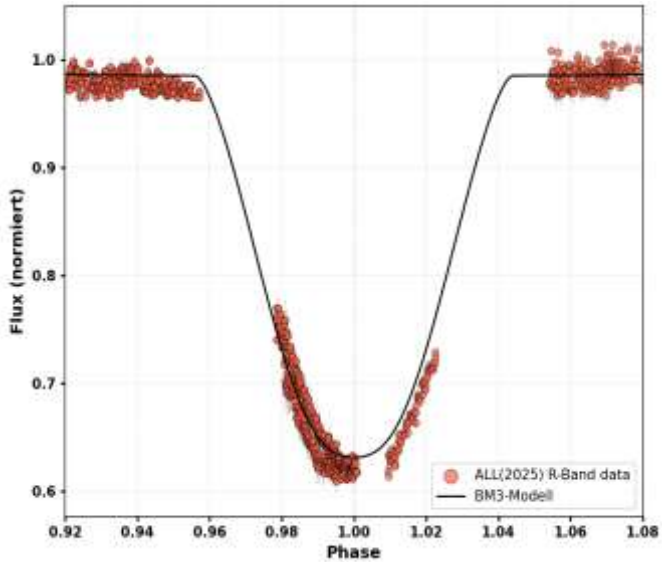


Abb. 7: Zoom auf das Hauptminimum in der BM3 Simulation der R-Band Lichtkurve

7) Fazit (offene und geklärte Fragen)

- Anders als in der Zeit zwischen 1968 und 2011 [9][13] zeigt die Lichtkurve aktuell nicht mehr solch dramatische Veränderungen. Veränderungen seit 2011 sind im Rahmen der Messgenauigkeit nicht sicher nachweisbar gewesen.

- Weiterhin offene Fragen, aber auch erste Antworten (vgl.: [12]):

- Gibt es eine Rückkehr der konstanten Phase im Minimum, oder ist umgekehrt ein zunehmend spitzes Minimum vorhanden? Hierzu gibt es aktuell in den Beobachtungen nur Andeutungen.

- Auch die Frage, ob sich die opake zirkumstellare Scheibe/Wolke weiter verkleinert hat, bzw. transparenter geworden ist, oder gar endgültig verschwunden ist, konnte daher noch nicht abschließend beantwortet werden. Verändert sich die Scheibe laufend weiter? Das ist zu vermuten, aber in dem astronomisch relativ kurzen Zeitraum seit 2011 noch nicht zu beantworten.

- Damit hängt auch die Frage zusammen, ob das Nebenminimum wirklich verschwunden ist? Hier müsste noch gezielter beobachtet werden! Eventuell im nahen Infraroten.

- Wie das Verschwinden des Nebenminimums mit der Änderung der zirkumstellaren Scheibe zusammenhängen könnte, ist durch die Modellierung durchaus bereits klarer geworden.

- Es wäre auch zu klären, ob die kleinen Helligkeits-Fluktuationen, die im Normallicht (s. Lichtkurven) immer wieder sichtbar waren, real sind oder kleine Messfehler. In diesem Zusammenhang ist es durchaus interessant, sich die MOST-Daten anzuschauen. Auch dort sind Strukturen in der Lichtkurve angedeutet.

- Als gesichert kann man m.E. nach den fortgesetzten umfangreichen Beobachtungen davon ausgehen, dass die vermeintlichen stärkeren Lichtschwächungen bei visuellen Beobachtungen auf Fehlschätzungen beruhen. Insofern konnten die Aussagen des Autors [11] bestätigt werden.

Man sieht, dass einige Fragen geklärt werden konnten, aber weitere Beobachtungen sind erforderlich, um die langfristige Entwicklung des Systems zu verstehen. Beobachtungen des BM-Ori-Systems mit Mitteln eines Amateurs sind sicherlich nicht einfach, aber können sich sehr lohnen, wenn geeignetes Equipment zur Verfügung steht.

Danksagung:

Für diese Arbeit konnte ich als Vereinsmitglied die Remote-Teleskope der „Internationalen Amateur-Sternwarte e.V.“ IAS [17] von September 2025 bis Februar 2025 häufig nutzen. Mein Dank gilt insbesondere Dr. Martin Junius und allen anderen IAS-Mitgliedern, die diese Installationen (aus der Ferne und vor Ort auf Hakos/Namibia) betreuen.

Literatur:

- [1] SIMBAD: Wenger, M. et al. (2000): SIMBAD Astronomical Database, CDS, Strasbourg, France: <https://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>
- [2] "International Variable Star Index (VSX) database", AAVSO, Cambridge, Massachusetts, USA: <https://vsx.aavso.org/index.php?view=vsx.home>
- [3] VizieR: Ochenbein, F., Bauer, P., Marcout, J. (2000), The VizieR database of astronomical catalogs, A&AS, 143, 23: <https://vizier.cds.unistra.fr/viz-bin/VizieR>
- [4] NASA-ADS: Accomazzi, A. et al., (2023), The SAO/NASA Astrophysics Data System, The Astrophysical Journal, 944, 2: <https://ui.adsabs.harvard.edu/>
- [5] Goos AN Nr.4945 (1918)
- [6] Allen et al., Dyn. Future of the Mini-Cluster θ 1 ORI B, 2015 AJ, 150, 167
- [7] Allen C. et al, ...Evolution of the Orion Trapezium, 2017, MNRAS 466, 4937–4953
- [8] Close et al, HighResolution LBT AO, 2013 ApJ; preprint: ArXiv1203.2638v1
- [9] Windemuth et al. 2013, AJ, 768, 67
- [10] Bondar et al., BMOri-Flares, 1996AstL...22..229B
- [11] Husar, D., BM Orionis - CCD Parallelbeobachtungen zu visuell beobachteten Lichtschwächungen, BAVR 2025, Nr.4, p.167-176
- [12] Husar, D., BM Orionis – Beobachtungen der Hauptminima 2024/2025, BAVR 2025, Nr.4, p.177-185
- [13] Walker et al. 2003, PASP, 115, 1023
(MOST Mission: Ultraprecise Photometry from Space)
<https://www.mscinc.ca/products/most.html>
- [14] AAVSO International Database: <https://www.aavso.org/data-download>
- [15] Cracow Data: <https://www.as.up.krakow.pl/minicalc/ORIBM.HTM>
- [16] BinaryMaker3 (Version 3.0.7): www.binarymaker.com
- [17] Webseite der „Internationale Amateursternwarte“ (IAS):
<https://www.ias-observatory.org/index.php/de/>

Für weitere Literaturangaben siehe: [11] und [12]

Kontaktadresse:

Dr. Dieter Husar (HSR) / Hamburg, husar.d@gmx.de