

# 17-tägige Rotationsperiode von Wolf-Rayet-Stern 1 durch Polarisationsmessungen bestätigt

Nicolaus Steenken

**Abstract:** *Optical linear polarization was measured for the star Wolf-Rayet 1 (HD 4004) over 29 nights, confirming the spectroscopically measured rotation period of 17 days. The measurements indicate an origin of the polarization in a Corotating Interaction Region at polar latitudes.*

Dieser Beitrag ist eine Zusammenfassung der Veröffentlichung unter [1].

Wolf-Rayet-Sterne haben 20 bis 100 Sonnenmassen, sind mehrere 100 Millionen Mal heller als die Sonne und existieren nur wenige Millionen Jahre, bis sie als Supernovae explodieren. Während ihres kurzen Lebens blasen extreme Sternwinde Materie mit Geschwindigkeiten von mehreren tausend Kilometern pro Sekunde in den interstellaren Raum, wodurch die Sterne eine Sonnenmasse in nur wenigen zehntausend Jahren verlieren. Ein großer Teil der gesamten interstellaren Materie und der schweren Elemente in unserer Galaxis stammen vermutlich von WR-Sternen.

WR-Sterne rotieren schnell um ihre eigene Achse, wodurch die Sternwinde in den Äquatorregionen verstärkt werden. Es wird angenommen, dass durch die Rotation des Sterns die ausgestoßenen Gasmassen und Elektronen spiralförmig um den Stern mitrotieren. Diese mitrotierenden Spiralen werden in der Fachsprache „Corotating Interaction Regions“ (CIR) genannt, die sich vermutlich aus hellen oder dunklen Flecken in der Sternphotosphäre entwickeln. Um diese Sterne besser zu verstehen und die CIR-Hypothese zu überprüfen, möchte man ihre Rotationsperioden messen, was jedoch durch die Staub- und Gasschwaden der Sternwinde nicht direkt möglich ist. Die unregelmäßigen kleinen Helligkeitsvariationen von WR-Sternen lassen sich nicht direkt für die Messung der Rotationsperiode verwenden.

Bisher wurden nur für einen kleinen Teil der etwa 430 WR-Sterne in unserer Galaxis die Rotationsperioden mittels Spektroskopie gemessen. Demnach rotieren diese riesigen Sterne in wenigen Tagen bis zu einigen Wochen um ihre eigene Achse. Theoretische Modelle von Prof. Richard Ignace von der East Tennessee State University sagen vorher, dass in den mitrotierenden Spiralen (CIR) polarisierte variable Strahlung durch Lichtstreuung an den Elektronen entsteht [2]. Mit einer Polarisationskurve im Zeitverlauf der Rotation des Sterns kann man demnach auch die Rotationsperiode bestimmen. Bislang ist der Nachweis einer variablen Polarisation jedoch nur bei ganz wenigen WR-Sternen gelungen.

Richard Ignace machte mir deshalb vor einigen Jahren den Vorschlag, die Polarisation des Wolf-Rayet-Sterns 134 über mehrere Wochen regelmäßig zu messen und den Zusammenhang mit der kurzen Rotationsperiode von 2,2 Tagen zu untersuchen. Leider gelang uns das bisher nicht, weil die Variabilität der Polarisation von WR 134 im Vergleich zu den Fehlerbandbreiten zu gering war. Ich startete also eine Literatursuche nach anderen WR-Sternen mit publizierter Rotationsperiode und einer Variabilität der Polarisation von deutlich über 0,1%. Dabei stieß ich auf den stickstoffreichen Wolf-

Rayet-Stern 1 (WR 1 bzw. HD 4004) im Sternbild Cassiopeia, der eine spektroskopisch gemessene Rotationsperiode von 16.9 Tagen hat [3]. Da der WR 1 eine visuelle Helligkeit von nur 10,1 mag hat, wurden die Polarisationsmessungen ungefiltert durchgeführt, um so eine Fehlerbandbreite der Polarisationsstärke von  $\pm 0,1\%$  zu erreichen.

Polarisation und Helligkeit von WR 1 wurden in 29 Nächten in einer Gartensternwarte in München mit einem Doppelstrahl-Polarimeter an einem 11-Zoll Schmidt-Cassegrain-Teleskop gemessen. Die Funktion des Polarimeters ist in [1], [5] und auf meiner Internetseite [4] näher dargestellt.

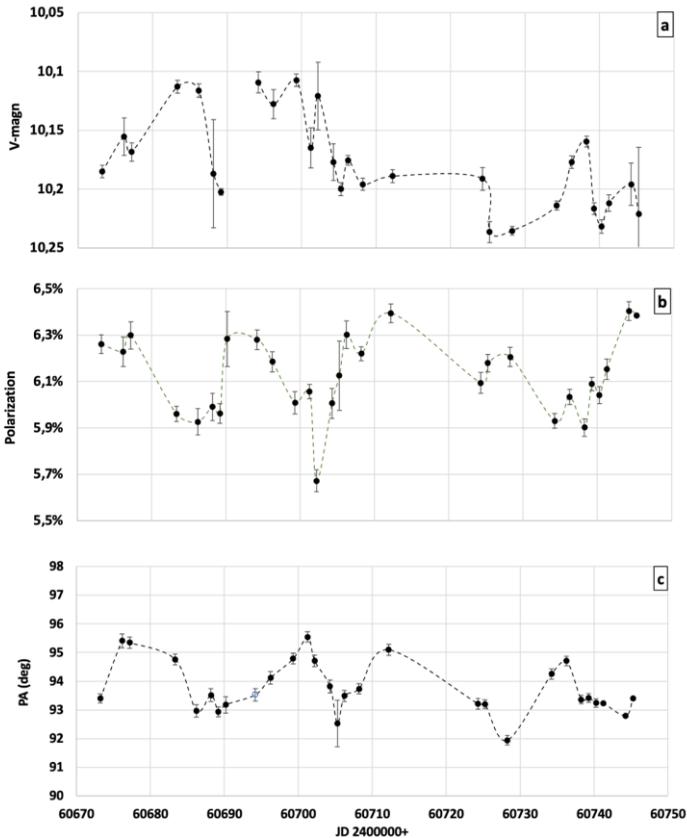


Abb. 1: Lichtkurve (a), Polarisation (b) und Polarisationswinkel (c) von WR 1 im Zeitraum vom 28. Dezember 2024 bis zum 10. März 2025. Die Lichtkurve ist unregelmäßig und hat im Beobachtungszeitraum eine Amplitude von nur etwa 0,1 mag(V). Als Vergleichsstern diente der nahe gelegene TYC 4024-1741-1. Die ungefilterte Polarisation bewegt sich mit einer Amplitude von etwa 0,5% um einen Mittelwert von ca. 6,1%. Der Polarisationswinkel (PA) pendelt zwischen 92 und 96 Grad. Es sind die 1-Sigma Fehlerbandbreiten angegeben.

Die in Abb. 1 (a) dargestellte visuelle Helligkeit von WR 1 variierte in einem schmalen Band zwischen 10,1 und 10,2 mag. Die ungefilterte Polarisation in Abb. 1 (b) betrug im Mittel etwa 6,1% und variierte für einen WR-Stern ungewöhnlich stark von 5,7% bis 6,4%. Eine zeitliche Korrelation zwischen Lichtkurve und Polarisationskurve war nicht feststellbar. In der galaktischen Ebene um WR 1 herum beträgt die interstellare Polarisation (ISP) etwa 6% bei einem Polarisationswinkel von 94 Grad. Die ISP konnte durch die Polarisationswerte von zehn Nachbarsternen im Umkreis von 0,75 Grad näherungsweise aus publizierten Werten [6] ermittelt werden. Die Polarisation eines Objektes ohne die ISP wird intrinsische Polarisation genannt, die im Falle von WR 1 also etwa um den Nullpunkt mit einer Amplitude von 0,7% variiert.

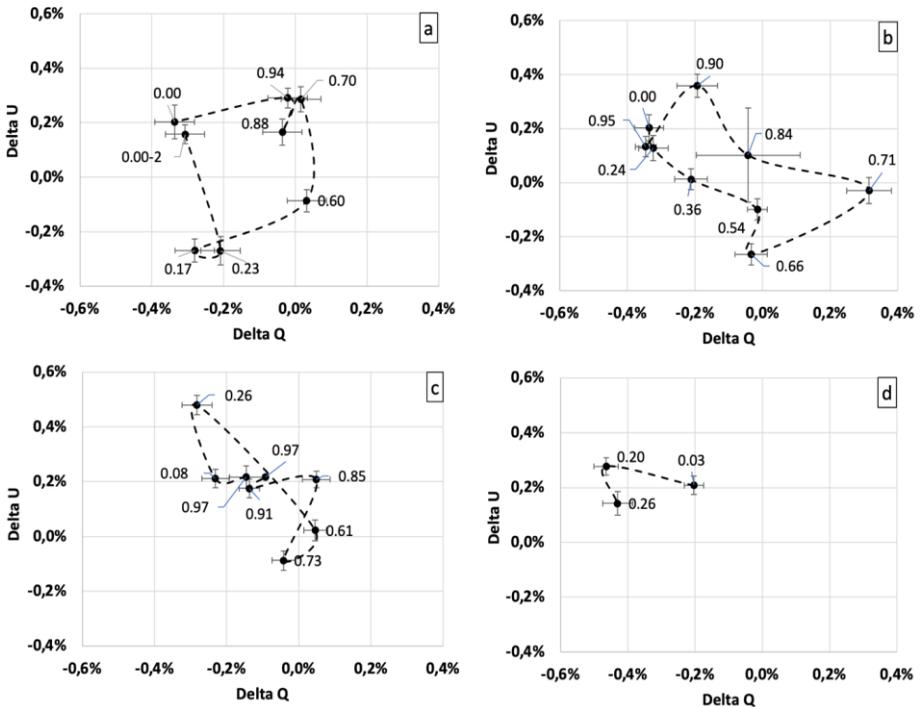


Abb. 2: Vier QU-Diagramme (a) bis (d) zeigen die intrinsische Polarisation während der vier beobachteten Rotationen von WR 1. Delta Q und U als Achsbezeichnungen steht jeweils für die gemessene intrinsische Polarisation. Die Zahlen neben den Messpunkten geben die Phase der Rotation an, wobei die Phase der ersten Messung willkürlich gleich Null gesetzt wurde. Die Phase aller weiteren Messungen wurden mit der Rotationsperiode von 16,9 Tagen fortgeschrieben. Man erkennt in allen Rotationsperioden die vorhergesagte schleifenförmige Bewegung der Polarisation von einem Ausgangspunkt bei Phase 0 und wieder zurück. Die vierte Rotation (d) konnte nur bis zur Phase 0,26 beobachtet werden.

Im nächsten Schritt wurde untersucht, ob die intrinsische Polarisation von WR 1 einen Zusammenhang zu seiner spektroskopisch gemessenen Rotationsperiode von 16,9 Tagen zeigt. Dazu wurden die Messwerte als Stokes-Parameter in QU-Diagrammen dargestellt. Der Stokes-Parameter Q zeigt eine lineare Polarisation entlang der vertikalen Achse (Nord-Süd am Himmel) bzw. horizontalen Achse. Ein positiver Q-Wert bedeutet eine horizontale Präferenz, ein negativer Wert eine vertikale. Der Stokes-Parameter U zeigt die bevorzugte Richtung der linearen Polarisation entlang Achsen, die um 45 Grad gegenüber der horizontalen und vertikalen Achse gedreht sind. Die theoretischen Modelle für WR-Sterne mit CIR sagen vorher, dass sich die Polarisation im QU-Diagramm im Laufe der Rotation in Schleifen um einen Mittelwert bewegt [2].

Die Ergebnisse sind in Abbildung 2 dargestellt und zeigen einen Zusammenhang zwischen der variablen Polarisation und der vorhergesagten Rotationsperiode von 16,9 Tagen. Der Beobachtungszeitraum deckte etwas mehr als 3 Rotationsperioden ab. In jeder Rotation konnte eine Schleife während der 16,9-tägigen Rotation des Sterns im QU-Diagramm beobachtet werden.

Man ging bisher davon aus, dass sich CIRs am Äquator befinden. Die Simulationen von Ignace ergaben aber für äquatornahe CIRs zwei Schleifen im Q-U-Diagramm während einer Rotation. Wenn die Rotationsperiode von WR 1 tatsächlich 16,9 Tage beträgt, deutet dies nach den Simulationen eher auf eine einzelne CIR hin, die in polaren Breiten entsteht. Wir diskutierten die Ergebnisse mit Prof. Nicole St-Louis aus Montreal, einer Pionierin der Erforschung von Wolf-Rayet-Sternen. Sie ermunterte uns, die Ergebnisse in den Research Notes of the AAS zu veröffentlichen [1]. Weitere Polarisationsmessungen und Simulationen zu diesem interessanten Stern sind geplant.

#### Literatur/Weblinks

- [1] N. Steenken, 2025, Research Notes AAS 9 36  
<https://iopscience.iop.org/article/10.3847/2515-5172/adb4ea>
- [2] R. Ignace, 2015, A&A 575, A129  
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2015a&a...575a.129i/abstract>
- [3] A.-N. Chené, 2010, AJ, 716:929–941  
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2010apj...716..929c/abstract>
- [4] <https://www.sternwarte-freimann.de/instrumente/>
- [5] H. Neilson, 2023, A&A  
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2023a&a...677a..96n/abstract>
- [6] C. Heiles, 2000, AJ 119 923  
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2000aj....119..923h/abstract>

Nicolaus Steenken  
Am Blütenring 20  
80939 München  
[Nicolaus@steenken.info](mailto:Nicolaus@steenken.info)