



Bernd Hanisch,  
**Die Spektren der hellsten Wolf-Rayet-Sterne im  
Sternbild Cygnus**

Artikel erschienen im  
Journal für Astronomie Nr. 19,  
Vereinszeitschrift der [Vereinigung der Sternfreunde e.V. \(VdS\)](#).

Bereitgestellt durch die [VdS-Fachgruppe Spektroskopie](#).

Referenz:  
B. Hanisch, VdS-Journal Nr. 19 (2006) 97ff

# Die Spektren der hellsten Wolf-Rayet-Sterne im Sternbild Cygnus

von Bernd Hanisch

Wolf-Rayet-Sterne (WR-Sterne), benannt nach den beiden französischen Astronomen C. J. Wolf (1827-1918) und G. A. Rayet (1839-1906), sind sehr leuchtkräftige und heiße Sterne mit extrem starken Sternwinden [1]. Dennoch fallen sie am Himmel nicht besonders auf und sind mit Ausnahme des in mitteleuropäischen Breiten nicht beobachtbaren Sterns  $\gamma$  Velorum (1,74 mag) nicht ohne Fernrohr am nächtlichen Sternhimmel auszumachen. Will man Näheres über diese Sterne erfahren, muss das von ihnen ausgesendete Spektrum beobachtet und interpretiert werden. Darüber, welche WR-Sterne mit welchem Instrumentarium spektroskopiert wurden, welche Informationen aus diesen Spektren gewonnen werden können und was das Besondere an dieser Gruppe von Sternen ist, soll nachfolgend berichtet werden.

## 1. Beobachtungsprogramm und Beobachtungsmethode

Sowohl eigene Studien über die Theorie der Sternentwicklung als auch ein Vortrag auf der Jahrestagung 2004 der VdS-Fachgruppe Spektroskopie in Heppenheim zur Thematik von Sternwindphänomenen lenkten mein Interesse auf die Gruppe der WR-Sterne. Mit dem Hinweis auf mehrere relativ helle WR-Sterne im Sternbild Cygnus entstand der Plan für ein kleines spektroskopisches Beobachtungsprogramm für den Sommer/Herbst 2004. Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die wichtigsten Parameter der Programmsterne. Die Abbildung 1 zeigt den Himmelsabschnitt,

in dem diese Sterne zu finden sind.

Die Aufnahme der Sternspektren erfolgte mit einem Objektivprismenspektrographen. Einem Zeiss-Meniscas 180 mm / 1.800 mm als Aufnahmeoptik war ein 5°-Objektivprisma SF 2 von 205 mm Durchmesser (Rundprisma) vorgeschaltet. Dabei ergab sich in der Fokalebene eine Spektrenlänge von etwa 9 mm für den Wellenlängenbereich zwischen 6.900 Å und 3.650 Å. Durch Pendeln quer zur Dispersionsrichtung wurden die Spektren auf 0,15 - 0,30 mm verbreitert. Die entsprechenden Werte für die reziproken Lineardispersionen ergaben sich in Abhängigkeit vom Spektralbereich etwa zu 500 Å/mm bei 5.712

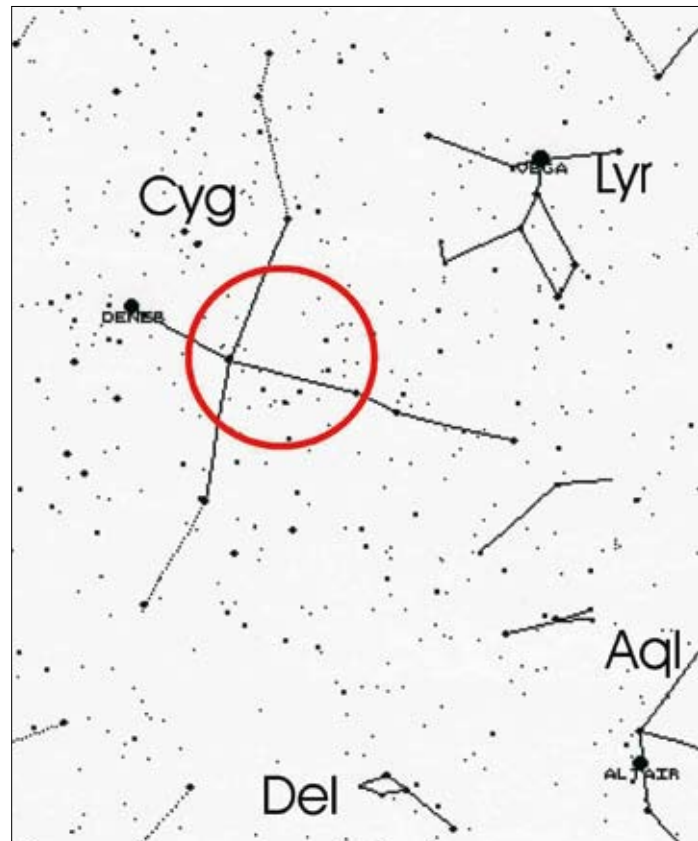
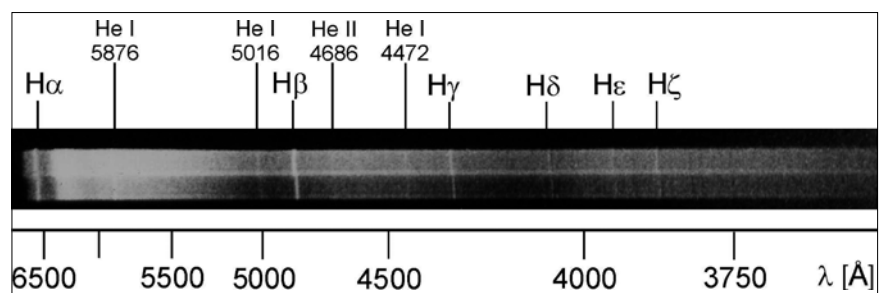


Abb. 1: Himmelsabschnitt im Sternbild Cygnus, in dem sich die Programmsterne befinden

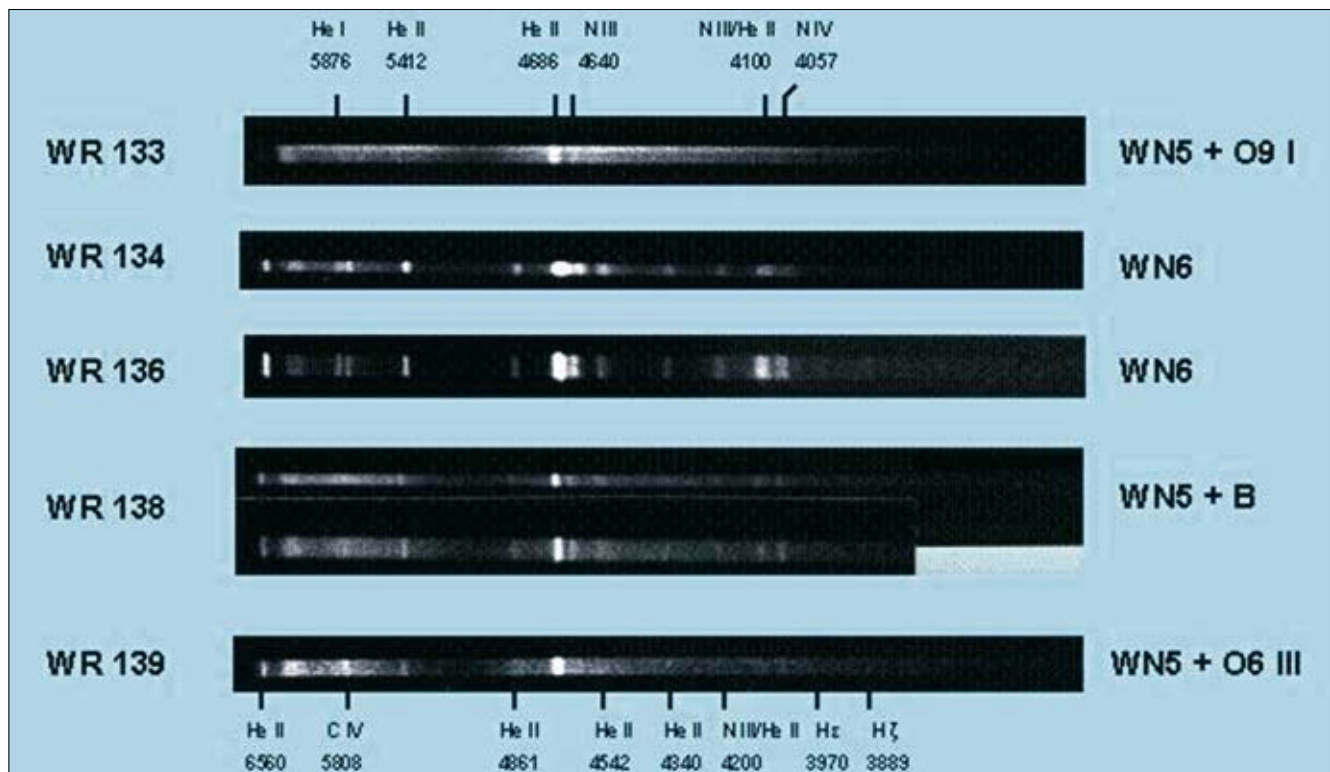
Abb. 2: Spektrum von P Cygni, das zur Erstellung der Dispersionskurve benutzt wurde



HD	WR	RA (2000) h m s	Dec. (2000) ° ' "	mvis	Spektralklasse	Komponentenzahl
190918	133	20 05 57	+ 35 47 18	6,70	WN 5 + O9 I	2
191765	134	20 10 14	+ 36 10 35	8,23	WN 6	1
192103	135	20 11 54	+ 36 11 51	8,36	WC 8	(?)
192163	136	20 12 07	+ 38 21 18	7,65	WN 6	1
192641	137	20 14 32	+ 36 39 40	8,15	WC 7pd + O9	2
193077	138	20 17 00	+ 37 25 24	8,10	WN 5 + B (?)	2 (?)
193576	139	20 19 32	+ 38 43 54	8,10	WN 5 + O 6 III	2
193793	140	20 20 28	+ 43 51 16	7,07	WC 7pd+O 4-5	2

Tab. 1:

HD-Katalognummer, WR-Bezeichnung, Koordinaten, visuelle Helligkeit, Spektralklasse und Komponentenzahl der ausgewählten Programmsterne, nach [2]. pd: periodic hot dust formation



**Abb. 3:**  
Spektren der WR-N-Sterne

Å, 270 Å/mm bei 4.600 Å und 170 Å/mm bei 3.881 Å. Zur Detektion kam eine Kleinbildkamera mit der H $\alpha$ -empfindlichen S/W-Fotoemulsion ILFORD DELTA 400 PROFESSIONAL® zur Anwendung. Angaben zu den Aufnahmezeitpunkten sowie den Belichtungszeiten der in den Abbildungen 3 und 4 dargestellten Spektren sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

## 2. Beobachtungsergebnisse

Um eine grobe Zuordnung der Wellenlängen mir unbekannter Linien in den Spektren der WR-Sterne zu ermöglichen, wurde mit dem Spektrografen zunächst ein Spektrum mit Emissionslinien von P Cygni aufgenommen (siehe. Abb. 2). P Cygni ist ebenfalls ein sehr heißer und leuchtkräftiger Stern [3].

Anhand der bekannten Wasserstoff- und Heliumemissionen von P Cygni wurde eine Dispersionskurve erstellt, mit deren Hilfe die Wellenlängen der zunächst unbekannt Linien in den WR-Sternspektren in erster Näherung durch Abstandsmessung von der H $\alpha$ -Linie bestimmt werden konnten. Die Verifizierung der so bestimmten Wellenlängen sowie die Zuordnung der Linien zu den entsprechenden chemischen Elementen und deren Ionisierungsstufen erfolgte mit Hilfe von Vergleichsspektren aus [4].

### 2.1 Spektrale Merkmale der WR-Sterne

Die aufgenommenen Spektren der WR-Sterne sind in den Abbildungen 3 und 4 dargestellt. Zunächst zeigen die Spektren der WR-Sterne breite Emissionslinien von Helium und mehrfach ionisiertem Stickstoff (Untergruppe der WR-N-Sterne, Abb. 3) sowie des mehrfach ionisierten Kohlenstoffs (Untergruppe der WR-C-Sterne, Abb. 4). Bei den WR-Sternen sind auch im sichtbaren Spektralbereich blau verschobene Absorptionslinien (P-Cygni-Profile) zu beobachten [5], jedoch sind letztere bei der verwendeten geringen Dispersion nicht sichtbar.

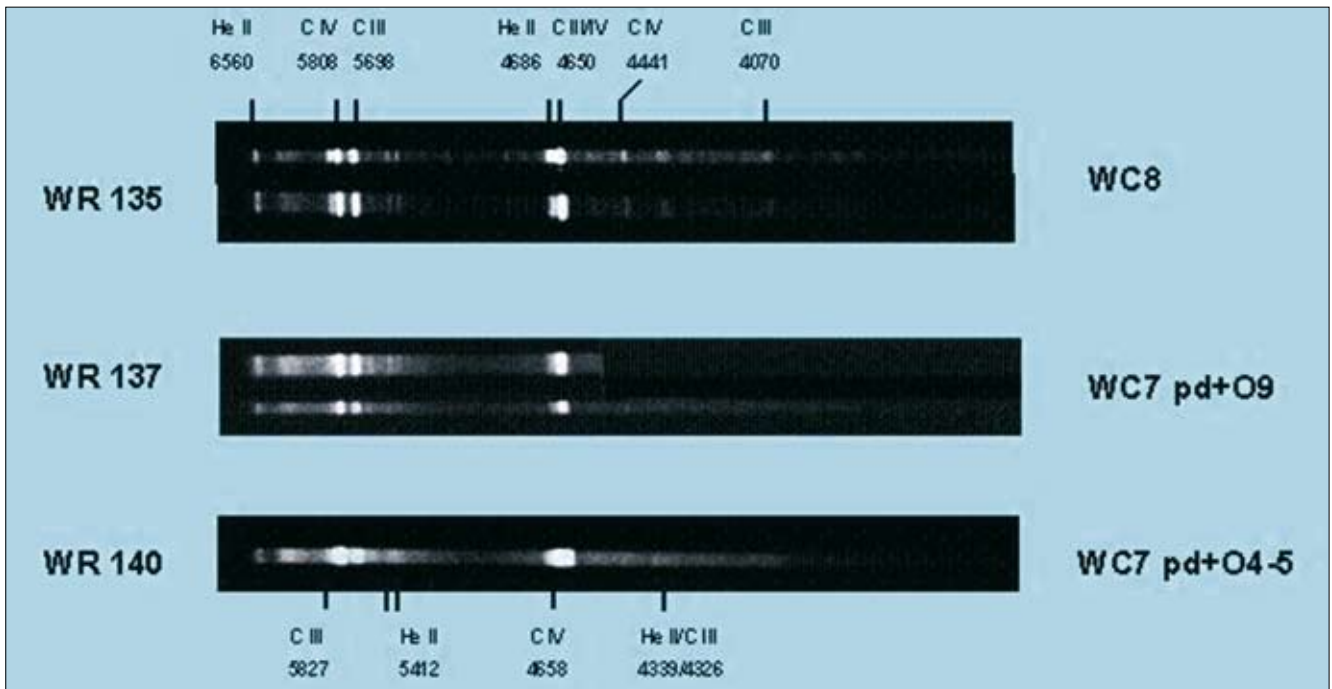
Das ebenfalls sichtbare Kontinuum ist vergleichsweise schwach ausgeprägt. Eine Eingruppierung in eine der beiden Untergruppen der WR-Sterne kann ohne Schwierigkeiten durch den Intensitätsvergleich der Linien C III/IV bei 4.650 Å und der He II-Linie bei 4.686 Å sowie der N III-Linie bei 4.640 Å vorgenommen werden: bei WR-C-Sternen dominiert die C III/IV-Emission deutlich gegenüber der He II-Emission. Bei den WR-N-Sternen wird an Stelle der C III/IV-Emission auf der kurzwelligen Seite die N III-Emission sichtbar. Bei den WR-C-Sternen fallen im Vergleich zu den WR-N-Sternen ferner die breiten Kohlenstoffemissionen bei 5.698 Å bzw.

5.808 Å auf, während die für die WR-N-Sterne zumindest teilweise charakteristischen Emissionen von N III (4.100 Å) und N IV (4.057 Å) fehlen.

Weitere auffällige Merkmale der WR-Sterne sind die extreme Breite der Emissionen, das offensichtliche Fehlen von Wasserstofflinien sowie das deutlichere Hervortreten der Emissionen in den Spektren der WR-Sterne ohne Begleiter (WR 134, WR 136, WR 135?) im Vergleich zu den Mischspektren von WR-Sternen mit Begleiter (alle anderen Programmsterne).

### 2.2 Interpretation der spektralen Merkmale von WR-Sternen

Die in den Spektren der WR-Sterne sichtbaren breiten Emissionen zeugen vom Vorhandensein ausgedehnter Gashüllen, die mit sehr hoher Geschwindigkeit (bis zu 2.500 km/s, [1]) expandieren. Eine solche Expansionsgeschwindigkeit bedingt z. B. bei einer Wellenlänge von 4.500 Å durch Dopplerverbreiterung eine Linienbreite von ca. 37 Å. Auch wenn wegen der geringen Dispersion der aufgenommenen Spektren eine genaue Bestimmung des radialen Geschwindigkeitsanteils des Sternwindes nicht möglich ist, so kann doch z. B. anhand der Breite der He II-Emission (4.686 Å) bei WR 136 von ca. 30 Å eine Größenordnung von ca. 1.900



**Abb. 4:**  
Spektren der WR-C-Sterne

km/s für die Radialgeschwindigkeit grob abgeschätzt werden (Literaturwert für WR 136: 1.750 km/s, [2]). Eine Abschätzung der Radialgeschwindigkeiten ist prinzipiell auch mit Hilfe der bei diesen Aufnahmen nicht sichtbaren P-Cygni-Profile möglich. Hierzu ist allerdings eine exakte Wellenlängenkalibrierung und vor allem eine deutlich höhere Dispersion erforderlich.

Ursache des sehr starken Sternwindes ist der enorme Strahlungsdruck aus dem Inneren des Sterns. Als unmittelbare Folge eines solchen Materiestroms kommt es zu einem

immensen Masseverlust, der bei den WR-Sternen auf ca. 10<sup>-4</sup> bis 10<sup>-5</sup> Sonnenmassen pro Jahr geschätzt wird [1]. Dabei werden zunächst die äußeren, kühleren und an unverbranntem Wasserstoff reicheren Atmosphärenschichten abgeblasen. Linien des Wasserstoffs fehlen folglich nahezu vollständig. Das vorherige Abwerfen der äußeren Atmosphärenschichten durch Sternwind ermöglicht die Beobachtung von höheren Elementen wie Helium, Stickstoff und Kohlenstoff im Sternwind. Diese veränderte chemische Zusammensetzung wird durch die Reaktionsprodukte des Wasserstoff- bzw. Heliumbrennens hervor-

gerufen. Der beim Wasserstoffbrennen bei massereichen Sternen vorzugsweise ablaufende CNO-Prozess (ein über die Elemente Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff katalytisch ablaufender Verbrennungsprozess von Wasserstoff zu Helium) ist dabei offensichtlich für die bei den WN-Sternen sichtbaren Stickstoffemissionen ursächlich. Bei den WC-Sternen hingegen blickt der spektroskopisch arbeitende Beobachter auf tiefer liegende Schichten und beobachtet das Endprodukt des Heliumbrennens (Kohlenstoff) in Gestalt der starken C-Emissionslinien [1].

Diskutiert wird, dass die bereits erwähnten Untergruppen WR-N und WR-C dadurch zustande kommen, dass man Brennprodukte aus verschiedenen inneren Schichten des ursprünglichen massiven Sterns sieht. Aktuelle Evolutionsmodelle gehen davon aus, dass WN- und WC-Sterne nur verschiedene Entwicklungsstadien desselben Phänomens, nämlich fortschreitenden Masseverlustes, darstellen und aus O-Überriesen hervorgehen. Dabei wird der Masseverlust durch verschiedene Faktoren beeinflusst, zu denen Windstrukturen (Klumpen, Corotating Interaction Regions), Wechselwirkungen in Mehrfachsystemen und eventuell auch Magnetfelder gehören. Dass vorhandene Begleiter – in der Regel heiße O- oder B-Sterne – einen Einfluss

WR-Stern	Aufnahmedatum	Aufnahmezeit MESZ	Gesamtbelichtungszeit min
WR 133	09.09.2004	23:06 - 23:22	16
WR 134	05.09.2004	00:04 - 00:16 *)	12
WR 135 (oben)	08.08.2004	23:30 - 23:48	18
WR 135 (unten)	05.09.2004	00:04 - 00:16 *)	12
WR 136	07.08.2004	00:25 - 00:42	17
WR 137 (oben)	09.09.2004	23:31 - 23:47	16
WR 137 (unten)	09.09.2004	22:26 - 22:35	9
WR 138 (oben)	04.09.2004	22:29 - 22:37	8
WR 138 (unten)	04.09.2004	22:02 - 22:24	22
WR 139	04.09.2004	23:42 - 23:52	10
WR 140	05.09.2004	22:29 - 22:39	10

**Tab. 2:**  
Aufnahme- und Belichtungszeiten der spektroskopierten WR-Sterne. \*) WR 134 und WR 135 in einem Fall auf einer Aufnahme

auf das Erscheinungsbild der Spektren der WR-Sterne haben, wird, wie bereits erwähnt, an einer Nivellierung schwächerer Emissionen durch ein stärkeres Kontinuum deutlich.

Die Spektrallinien hoher Ionisierungsstufen (z. B. He II, C IV oder N IV) der WR-Sterne werden durch die sehr hohen Windtemperaturen (30.000 – 60.000 K, [1]) ermöglicht. Bei niedrigeren Temperaturen würden die notwendigen Ionisierungsenergien (He II: 54,1 eV, C IV: 64,5 eV, N IV: 77,4 eV, [4]) nicht erreicht werden. Im Vergleich dazu ist die für die Ionisierung eines Wasserstoffatoms erforderliche Energie von 13,6 eV relativ gering.

Aus der Sicht der Sternentwicklung können WR-Sterne in zwei Kategorien eingeteilt werden: Einerseits in relativ junge, masse-reiche Sterne mit 20 - 50 Sonnenmassen, zu der alle in diesem Bericht beschriebenen Programmsterne gehören. Möglicherweise sind solche Sterne wie P Cygni, die ebenfalls große Masseverlusten und starke Emissionslinien (allerdings neben Helium auch noch von Wasserstoff!)

aufweisen, Vorläufer der Wolf-Rayet-Sterne [5]. Andererseits können auch die sehr heißen Zentralsterne planetarischer Nebel, die in der Regel deutlich geringere Massen besitzen und in die Endphase der Sternentwicklung einzuordnen sind, ein typisches WR-Spektrum zeigen.

### 3. Ausblick

Dieses kleine Beobachtungsprogramm zeigt, dass es bereits mit sehr einfachen Mitteln möglich ist, auch bei weniger hellen, aber doch sehr exotischen Sternen interessante Beobachtungen zu machen. Weiterführende Beobachtungen an WR-Sternen müssten mit deutlich höherer Dispersion zur genaueren Bestimmung der Radialgeschwindigkeiten, mit einer kalibrierten Intensitätsachse zur Messung von Linienintensitäten und mit einer kontinuierlichen Beobachtungsfolge zur Feststellung zeitlicher Veränderungen (z. B. periodischer oder nicht periodischer Staubbildungsprozesse) durchgeführt werden.

### Danksagung

Herrn Dr. Thomas Eversberg (selbst Mitglied der FG Spektroskopie) sei an

dieser Stelle für die konstruktiven und kritischen Hinweise bei der Durchsicht des Manuskriptes gedankt.

### Literaturhinweise

- [1] H. Zimmermann und A. Weigert, 1995: „ABC-Lexikon der Astronomie“, 8. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg-Berlin-Oxford: Spektrum Akademischer Verlag, 1995, 525f
- [2] K. A. van der Hucht, 2001: „The Seventh Catalogue of Galactic Wolf-Rayet Stars“, 2001, <http://cdsweb.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR?source=III/215>
- [3] B. Hanisch, 2001: „Beobachtung von Radialgeschwindigkeiten mit Amateurmitteln am Beispiel von P Cygni“, *VdS-Journal für Astronomie*, Nr. 7, (II/2001), 68f
- [4] K. Wurm, 1951: „Die Planetarischen Nebel“, Akademie Verlag Berlin, 1951
- [5] J. B. Kaler, 1994: „Sterne und ihre Spektren: astronomische Signale aus dem Licht“, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg-Berlin-Oxford: Spektrum Akademischer Verlag, 1994, 259ff

## Aktivitäten der Fachgruppe Sternbedeckungen

von Hans-Joachim Bode

Die zentralen Ereignisse des Jahres 2005 waren, neben den beiden Sonnenfinsternissen im April und Oktober, die Bedeckung des Sterns UCAC 2625 7135 durch den Plutobegleiter Charon am 11. Juli dieses Jahres.

Mitglieder der IOTA/ES hatten allerdings Pech bei der Vermessung des Sonnendurchmessers in Venezuela: „clouded out“.

Anders erging es der Expedition nach Südamerika zur Bedeckung durch Charon, bei der es neben der Bestimmung seines Durchmessers festzustellen galt, ob er eine Atmosphäre besitzt und gegebenenfalls Aussagen über deren Dichte und Zusammensetzung zu machen. Diese Gruppe, die sich aus IOTA/ES-Mitgliedern und Astronomen der Sternwarte Paris/Meudon zusammensetzte, hatte an fast allen Großteleskopen Südamerikas Beobachtungszeit beantragt. Resultate gab es vom VLT (Chile, Paranal), von La Silla

(Chile), aus El Leoncito (Argentinien) und einem Amateuerteleskop in San Pedro de Atacama (Chile).

Bei der ringförmigen Sonnenfinsternis in Spanien im Oktober sollte der Sonnendurchmesser exakt bestimmt werden, wenn das Wetter mitspielen sollte. Zahlreiche Beobachter haben sich an den Rändern der Zentralzone mit Ihren Geräten nur zu diesem Zweck aufgehalten. Ergebnisse lagen bei Redaktionsschluss noch nicht vor.

Fast schon routinemäßig werden vorausberechnete Sternbedeckungen durch Kleinplaneten weltweit verfolgt, um Durchmesser und Form dieser Objekte zu ermitteln. Allein im 1. Halbjahr wurden bereits 50 Sternbedeckungen erfolgreich beobachtet, davon die meisten Ereignisse in Mitteleuropa unter Beteiligung vieler IOTA-ES Mitglieder. Eine besonders große Beobachterzahl gab es besonders dann, wenn vorher noch eine „Last-Minute“-

Astrometrie erfolgte.

Die Standardprogramme „Totale“ und „Streifende Sternbedeckungen“ durch den Mond werden weiterhin durchgeführt, wenn auch hier das Interesse leider etwas nachgelassen hat.

Neben der jährlichen Mitgliederversammlung findet einmal im Jahr in wechselnden europäischen Städten das ESOP statt (European Symposium on Occultation Projects): letztes Jahr am Observatoire de Paris, dieses Jahr bei der URSA in Helsinki und nächstes Jahr in Leiden, Holland. Die in Helsinki vorgetragenen Referate befassten sich mit folgenden Themen:

- GPS-Zeit und Time-Inserters
- Die Charon-Bedeckungskampagne 2005
- Eine kurze Darstellung der Entwicklung und Erstellung der Stationskarten
- Ergebnisse der gegenseitigen Jupitermond-Verfinsterungen/-Bedeckungen