

Fische, Forschung, Georges Lemaître

von Thomas Eversberg

Ich wusste, was mich erwartet. Ich wusste, dass ich deprimiert auf dem Berg ankommen würde. Doch ich musste da durch! Ich spreche von den Supermärkten der Atlantikinsel Teneriffa und ihren Fischtheken, die mir auf dem Weg zum Observatorium nicht erspart blieben. Angesichts des seekulinarischen Angebots in Deutschland ist die Fischtheke jedes kanarischen Supermarktes ein Paradies – schon mal einen Bonito probiert? Und am Teleskop auf dem Teide gab es nur eine Mikrowelle ... Voller Verzweiflung erstand ich eine Konserve Sardinen in Olivenöl und machte mich mit meinem dänischen Beobachtungspartner Knud



1

Auf dem Gelände des Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) auf Teneriffa in 2.400 m Höhe

Die provisorischen Relativzahlen des SONNE-Netzes 2. Halbjahr 2014

von Andreas Bulling

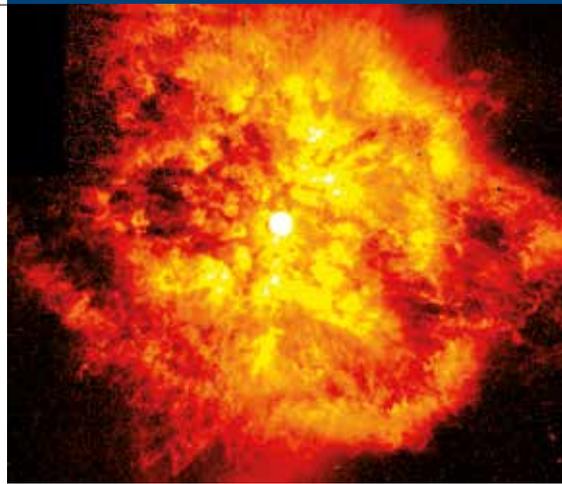
Tag	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
1	59	71	49	36	83	84
2	83	80	62	49	67	95
3	84	74	53	52	84	82
4	86	57	59	57	94	85
5	83	56	45	41	86	74
6	92	52	36	33	100	71
7	101	59	30	55	107	57
8	89	64	14	65	89	70
9	80	44	11	78	77	92
10	65	50	16	77	75	132
11	58	55	37	95	78	104
12	51	66	38	81	106	89
13	33	76	26	91	111	95
14	43	78	16	87	130	96
15	52	86	10	77	132	76
16	52	69	17	73	124	75
17	55	70	27	100	120	95
18	76	76	42	110	93	104
19	64	94	49	96	75	91
20	45	92	61	77	63	93
21	43	107	52	103	59	110
22	41	97	61	83	49	82
23	57	92	54	102	46	82
24	54	55	44	93	49	73
25	60	39	48	94	28	67
26	52	34	41	86	29	75
27	52	37	43	104	57	72
28	51	36	41	109	71	77
29	73	39	37	108	59	79
30	64	46	37	99	72	75
31	71	55	–	93	–	84
Mittel	63,5	64,7	38,5	80,8	80,4	85,0

weiter auf den Weg 2 Kilometer höher, um mein seelisches Gleichgewicht unter einem Seeing von 0,4 Bogensekunden zurückzuerlangen.

Die Zusammenarbeit zwischen Profis und Amateuren (ProAm) bei spektroskopischen Untersuchungen massereicher Sterne ist schon beinahe ein fester Bestandteil der Aktivitäten innerhalb der VdS-Fachgruppe Spektroskopie. Schon 2009 hatten wir mit weltweit rund 30 Kolleginnen und Kollegen in einer knapp viermonatigen Kampagne am 50-cm-Teleskop des Teide-Observatoriums erfolgreich den Doppelstern WR 140 untersucht [1, 2]. Zwei Jahre später war ich dann an einer neuen einwöchigen Kampagne über den Be-Stern Delta Scorpii beteiligt, den eine ProAm-Gruppe am 80-cm-Teide-Teleskop IAC 80 untersuchte. Allerdings konnte ich damals nicht vor Ort sein, sondern nahm zu dieser Zeit an einer Profikonferenz über massereiche Sterne in Kanada teil. Während eines abendlichen Konferenzgesprächs mit den dortigen Kollegen machte ich klar, dass ich als selbstzahlender Amateur keinesfalls ohne eine neue ProAm-Kampagne nach Hause fliegen würde – wäre ja noch schöner! Wir setzten uns also zu Fünft am folgenden Abend zu Bier und Brainstorming zusammen und entwickelten die Idee, die drei von den Messieurs Charles Wolf und Georges Rayet entdeckten und daher nach ihnen benannten ersten Wolf-Rayet-Sterne WR 134, WR 135 und WR 137 genauer zu untersuchen.

Wolf-Rayet-Sterne (WR-Sterne) gehören zur Gruppe massereicher Sterne. Diese Sterne beginnen ihre Entwicklung auf der Hauptreihe mit über 8 Sonnenmassen und enden als Supernovae. Sie liefern bei der internen Elementsynthese trotz ihrer relativen Seltenheit gegenüber normalen Hauptreihensternen den Löwenanteil schwerer Elemente im Universum und verfüttern diese Spezies in Form starker Sternwinde an das interstellare Medium. Außerdem dominieren massereiche Sterne das Strahlungsfeld jeder Galaxis. Beobachtet man Galaxien, so sieht man zuerst solche Biester. Am Ende ihrer Entwicklung vor der finalen Supernova durchlaufen die massereichsten Sterne (mehr als 25 Sonnenmassen zu Beginn ihres Lebens) eine besondere Phase. Nachdem ihr Wasserstoffreservoir aufgebraucht ist, zündet Helium (die „Asche“ des Wasserstoffs) in ihrem inneren Kern. Wegen der inneren Kontraktion und damit einhergehender höherer Temperatur wird der Stern kompakter und kann damit Helium verbrennen. Außerdem werden die äußeren und weniger dichten Schichten durch von der Sternstrahlung angetriebenen sehr starken Sternwind abgestoßen.

Genau diesen Zustand beobachteten Wolf & Rayet, als sie die neue Sternklasse entdeckten. Diese evolutionäre Phase im Leben eines massereichen Sterns ist so kurz, das man nur wenige hundert Wolf-Rayet-Sterne in unserer Galaxis findet. Das besondere Merkmal von Wolf-Rayet-Sternen ist ein äußerst starker und optisch dichter Sternwind, der erst in einer Distanz von rund 2 Sternradien durchsichtig wird und rund eine Milliarde Mal stärker ist als bei unserer Sonne. Die Oberfläche des Sterns ist also nicht sichtbar und daher können WR-Sterne auch nicht mit dem Hertzsprung-Russell-Diagramm über die Effektivtemperatur der Photosphäre klassifiziert werden. Abhängig von unterschiedlichen theoretischen Modellen werden Effektivtemperaturen von 30.000 bis 150.000 K vermutet. Für unsere geplante Kampagne war dabei relevant, dass Wolf-Rayet-Winde nicht glatt und ungestört radial nach außen strömen, sondern komplexe Strukturen zeigen. Diese sind a) stochastische Turbulenzen, die sich in Windklumpen höherer Dichte manifestieren und b) spiralähnliche Strukturen, die mit



2

Hubble-Space-Telescope-Aufnahme eines stochastisch geklumpten WR-Windes in großer Distanz vom Stern (NASA/STScI)

dem darunterliegenden Stern mitrotieren. Letztere wurden schon bei der Sonne beobachtet und verweisen auf Störungen an der Windbasis, die sich beim Abströmen bis oberhalb des optisch dichten Windes zeigen.

a) Die klumpige Struktur in den Winden massereicher Sterne reflektiert wahrscheinlich Multi-Skalen-Turbulenzen. Das heißt, wenige große turbulente Wirbel direkt über der unsichtbaren Photosphäre bewegen sich nach außen und werden kaskadenartig kleiner, bevor die Energie aus dem Wind in das interstellare Medium abgeführt wird. Allerdings erfordern Turbulenzen einen Treiber. Bei Sternen werden Instabilitäten entweder von der Sternstrahlung induziert oder von zufälligen Konvektionsbewegungen an der stellaren Oberfläche. Seit etwa zwei Jahrzehnten kämpfen Astronomen mit nur mäßigem Erfolg um das Verständnis von Windklumpen. Wir wissen immer noch nicht, wie Klumpen korrekt quantifiziert werden können. Das ist insofern problematisch, da Klumpen einen wichtigen Einfluss auf die entsprechenden Massenverlusten ausüben und somit entscheidend sind für das Verständnis der evolutionären Entwicklung massereicher Sterne.

b) Da wir im Gegensatz zu gewöhnlichen Sternen die Oberfläche (Photosphäre) bei WR-Sternen wegen des optisch dicken Windes nicht sehen können, braucht man eine „Sonde“, die bis zur Oberfläche reicht, um Informationen zur Sternrotation zu erhalten. Im vorliegenden Fall sind dies sog. „Corotating Interaction Regions“ (CIR), also „mitrotierende, wechselwirkende Regionen“. Es handelt sich um die schon angesprochenen spiralähnlichen Strukturen, die mit dem darunterliegenden Stern mitrotieren. Windmaterial einer bestimmten Geschwindigkeit

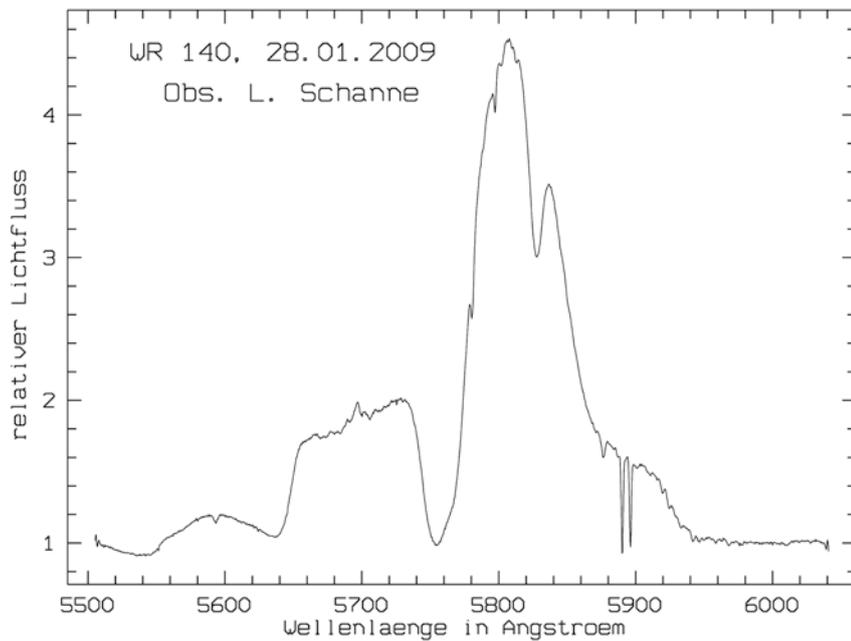
wird von einer lokalen äquatorialen Region an der Sternoberfläche mit einer bestimmten Geschwindigkeit abgestoßen (typischerweise 2.000 km/s) und von schnellerem Windmaterial einer anderen Region anderer „geografischer“ Länge auf dem Weg nach außen eingeholt und durch Überschallschocks verdichtet. Die Untersuchung der Rotation ist insofern wichtig, da sie einen direkten Einfluss auf die Sternevolution hat. Man nimmt an, dass schnelle Rotatoren die Vorläufer von Gamma Ray Bursts sind, die bei einem Ausbruch heller leuchten als das gesamte restliche Universum.



3

Darstellung von vier Corotating Interaction Regions (Dessart 2004, A&A 423, 693)

Man sollte sich vor Augen halten, dass solche Untersuchungen nur mit spektroskopischen Methoden möglich sind. Nur sie liefern uns Informationen über die dreidimensionale Struktur in direkter Sternnähe. Die variablen Windstrukturen sollten sich in zeitlichen Veränderungen der Emissionslinien widerspiegeln (vgl. Spektrum in Abb. 4). In der HST-Aufnahme (Abb. 2) hätte der zentrale Stern maßstabsgerecht die Größe eines Atoms. Abbildende Techniken für Informationen in direkter Sternnähe sind also hoffnungslos.



4 Spektrum von WR 140 (L. Schanne, 2009)

Das war also unsere Forschungs idee in kleiner Runde, und im Laufe unseres kanadischen Abends wuchs die Zahl leerer Flaschen bis zum Morgen - aber auch die Gruppe interessierter Astronomen. An unserem Tisch war etwas los, wir hatten Spaß! Und das merkten Kollegen aus verschiedenen Ländern. Kurz, am Ende waren wir rund 15 Leute aus drei Kontinenten, die bei diesen sehr genauen Untersuchungen dabei sein wollten. „Genau“ heißt hier: hoher Kontrast und hohe spektrale Auflösung. Und vor allem über einen langen Zeitraum und an verschiedenen Observatorien weltweit. Mit dieser Idee und unserer am Instituto Astrofisica de Canarias (IAC) bekanntermaßen erfolgreichen Teide-Kampagne 2009 stellten wir einen neuen Beobachtungsantrag für 4 Monate und 9 Beobachtungsteams am IAC 80 auf Teneriffa. Nach einigen Onlinerückfragen, aber auch Vortrag und Diskussion vor Ort auf Teneriffa, wurde unser Antrag bewilligt!

Professionelle Astronomen, denen ich diese Story erzähle, sind nicht wenig irritiert über unseren erfolgreichen Antrag - wer bekommt schon bitteschön vier Monate Beobachtungszeit an einem Profiobservatorium der 1. Liga? Allerdings besitzen unsere professionellen Kampagnenpartner ein außerordentliches Renommee und unsere diszipliniert



5 IAC 80 und Teide (Gerrit Grutzeck)

durchgeführten früheren Teide-Kampagnen inklusive mehrerer Publikationen haben wohl auch nicht geschadet. Man liest halt mit. Unsere bewährte Strategie: Die Profis unterstützen uns bei der wissenschaftlichen Hintergrundarbeit und diskutieren mit uns mögliche Untersuchungen, die nur in längeren Zeiträumen und damit an kleinen Teleskopen bis 1 Meter Öffnung möglich sind. Ein kleines ProAm-Team schreibt den Teleskopantrag und alle Amateurbeobachter zahlen ihren Aufenthalt aus eigener Tasche. Im Gegenzug liefert das Beobachterteam alle gewonnenen Daten an eine(n) Studenten

oder Studentin, um diese für eine Masterarbeit oder Promotion zu nutzen.

Bei scharfer Kalkulation zahlt man für den Flug nach Teneriffa, einen Mietwagen sowie den zweiwöchigen Aufenthalt am Observatorium etwa 1.000 Euro. Das ist insbesondere für Schüler und Studenten viel Geld. Sie haben daher in Relation zum eigenen Einkommen mit Abstand die größten Unkosten. Allerdings ist für Verrückte wie uns ein Forschungsarbeitsaufenthalt an einem Profiobservatorium offenbar Grund genug, an anderen Stellen zu sparen als an der Leidenschaft. Über allem schwebt das Ziel, Freude in einem internationalen Team Gleichgesinnter zu haben, neue Erfahrungen zu sammeln und die Ergebnisse in einem Profijournal zu veröffentlichen, wobei alle Beteiligten als Koautoren zeichnen. Letzteres ist besonders für unsere jüngsten Mitstreiter attraktiv. Welcher Schüler hat schon eine

internationale und von Wissenschaftlern geprüfte Forschungspublikation auf dem Kerbholz?

Nach der Beobachtungszusage ging die wirkliche Arbeit für die Fachgruppe allerdings erst richtig los. Dazu gehörten die Zusammenstellung verschiedener Teams (im vorliegenden Fall 28 Kolleginnen und Kollegen aus Dänemark, Deutschland, Frankreich, Portugal und Spanien), die Buchung der Zimmer auf dem Berg und weitere administrative Dinge (Flüge, Mietwagen, Infos zur Unterkunft etc.). Außerdem koordinierten wir Ama-

teurbeobachtungen in England, Holland, Frankreich, der Schweiz, Kanada, den USA, China und Australien. Parallel dazu riefen wir in der professionellen Community zu weiteren Beobachtungen auf, was in einer Mailingliste von über 80 (!) Profis und Amateuren endete. Unter anderem erhielten wir Beobachtungszeit für fotometrische Messungen mit dem kanadisch/österreichischen MOST-Satelliten. Das wahre Highlight: Wir erhielten zwei Nächte am 10-Meter-Keck-Teleskop am Mauna Kea auf Hawaii. Boing!

Entscheidend für den Erfolg einer Beobachtungskampagne ist die Installation des spektroskopischen Instrumentariums durch das erste Team. Alle weiteren Gruppen können dann dieses Setup übernehmen und routinemäßig damit arbeiten. Dies sah so aus, dass ein privater Spektrograf an das Teleskop angeschlossen wurde und während der gesamten Kampagne nicht mehr manipuliert werden durfte. Zur Übergabe der Arbeit von Team zu Team haben wir jeweils eine überlappende Nacht eingerichtet. Das erschien zunächst etwas knapp, war die Kontrolleinheit des Teleskops doch recht komplex. Doch vor Ort löste sich diese Befürchtung in Luft auf, und nach jeweils drei Stunden hatten alle Neuankömmlinge die Prozeduren im Griff. Begeisterte Leute muss man eben haben!

Im Gegensatz zur Planung einer kurzen Beobachtungskampagne muss man bei einer viermonatigen Messung die Ziel-ephemeriden besonders im Auge behalten und womöglich zusätzliche Ziele anvisieren, um die Teleskopzeit optimal zu nutzen. Wir hatten wegen der unterschiedlichen Sichtbarkeitszeiten unserer WR-Sterne daher noch sekundäre Ziele in unser Programm aufgenommen. Dazu gehörte auch die spontane Beobachtung einer Zwergnova sowie einer klassischen Nova, die plötzlich aufleuchteten. Die Daten der Nova lieferten wir an eine ebenfalls entsprechende weltweite ProAm-Kampagne – in der spektroskopischen Amateurszene ist was los.

Unsere Routine wurde zwar durch ein paar bewölkte Nächte, aber auch von einigen technischen Problemen unterbrochen. Letztere wurden jedoch von den uns unterstützenden exzellenten IAC-Technikern und -Nachtassistenten gelöst.



6

Installation des Spektrografen durch Daniel Weiss und Berthold Stober von Team 1 (Lothar Schanne)

Ulrich Waldschläger hat zwei Zeitraffer einer Nacht am Teide-Observatorium erstellt. Sie können unter [3, 4] abgerufen werden.

Trotz Routine erlebten alle Teams verschiedene Überraschungen auf dem Berg. Diese waren u. a. eine private Führung am Sonnenteleskop GREGOR sowie die Lieferung frischer Törtchen aus Lissabon vom Folgeteam. Während unseres eigenen Aufenthalts entdeckten Knud und ich einen Spektroskopie-Neuling im Internetforum, der auf Teneriffa lebt. Der erhielt natürlich sofort eine Einla-

dung auf den Berg, brachte am nächsten Abend dann Kekse mit und entpuppte sich als überaus freundlicher und wissenschaftsbegeisterter Theologe – ich dachte, wir haben Georges Lemaître bei uns.

Immer wieder werde ich gefragt, was an solch einer Kampagne die wahre Herausforderung ist. Aus meiner persönlichen Sicht sind das drei Dinge:

Als Teilnehmer an einer professionellen Kampagne muss man bereit sein, allen Mitstreitern Vertrauen in die jeweilige Kompetenz entgegenzubringen. Da der Beobachtungsbetrieb im Wesentlichen



7

Team 3 (Schüler und Studenten) in Aktion. v.l.n.r.: Daniel Küsters, Dennis Fuchs, Gerrit Grutzeck

aus Standardprozeduren besteht, spielen spektroskopische Fachkenntnisse nur eine nachgeordnete Rolle. Vielmehr orientiert sich professionelle Arbeit hier eher an der Bereitschaft, besondere Anforderungen zu akzeptieren. Diese sind der geringe Spielraum für eigene Wünsche (man kann das Teleskop nicht allein lassen, um Deep-Sky-Aufnahmen zu machen), sich wiederholende Prozeduren (der Ort ist spektakulär, nicht aber die Arbeit am Computer) und die Fähigkeit, das gesamte Team im Blick zu haben (vor Ort repräsentiert man die ganze Gruppe). Erfolge werden geteilt, Misserfolge aber ebenfalls.

Als Organisator sollte man sich über den Arbeitsaufwand im Klaren sein. Sicherlich sind Reisen nach Nordamerika und Spanien, wie im vorliegenden Fall, nicht zwangsläufig nötig. Doch deutlich über 1.000 E-Mails reflektieren den Zeitaufwand ganz gut. Als Verantwortlicher für die ganze Gruppe gehen außerdem alle Probleme auf das persönliche Konto. Wenn man in einem internationalen

Team arbeitet, kommen potenziell nationale Eigenheiten ins Spiel, die in Dialogen (vor allem per E-Mail) berücksichtigt werden sollten. Profis sind mit nationalen Unterschieden aus täglicher Erfahrung vertraut. Amateure müssen das in der Regel erst lernen. Daher empfiehlt sich die obligatorische Teilnahme an einem Vorbereitungstreffen für alle Beobachter.

Man mag sich fragen, ob solch ein Aufwand für Amateurastronomen noch angemessen ist. Die Beteiligten unserer Kampagne bejahen diese Frage offenbar, hätten sie sonst eigene Zeit, Arbeit und nicht zuletzt Geld investiert? Ich persönlich ziehe meine Kraft aus den glänzenden Gesichtern vieler Beteiligter auf dem Berg. Sie spiegeln ganz außergewöhnliche Erfahrungen wider, die die meisten als spektakulären Bestandteil ihrer astronomischen Leidenschaft ansehen. Last but not least: Ein Urlaub im Fischtheken-Paradies ist auch nicht schlecht ...

Danksagung

Diesen Bericht habe ich stellvertretend für das gesamte ProAm-Teide-Team geschrieben. Mein Dank gilt daher allen Kolleginnen und Kollegen, die sich für unsere Arbeit eingesetzt haben und ohne die dieses Projekt nicht möglich gewesen wäre. Dies gilt insbesondere für Berthold Stober, der uns seinen wertvollen Spektrografen zur Verfügung stellte, sowie für das gesamte IAC-Team auf Teneriffa (Alex Oscoz, Johan Knapen und alle Techniker & Nachtassistenten). Mein besonderer Dank geht jedoch an unsere jungen Schüler und Studenten, die mit ihrer unspektakulären und gelassenen Art beispielhaft am Teleskop gearbeitet haben.

Literatur- und Internethinweise:

- [1] *Sterne und Weltraum* 12/2009
- [2] *Sterne und Weltraum* 1/2013
- [3] www.stsci.de/qr/Teide.wmv
- [4] www.stsci.de/qr/Teide_Dome.wmv