Ernst Pollmann

Call-Profilbeobachtungen an M- und K-Riesensternen

Artikel erschienen im
Journal für Astronomie Nr. 12,
Vereinszeitschrift der Vereinigung der Sternfreunde e.V. (VdS).

Bereitgestellt durch die VdS-Fachgruppe Spektroskopie.

Referenz:
Ernst Pollmann, VdS-Journal Nr. 12 (2003) 92ff

Diese Datei ist nur für Ihren persönlichen Bedarf bestimmt. Änderungen sowie die Vervielfältigung auf einem anderen physischen oder virtuellen Datenträger sind untersagt!

Emissionslinien verstehen.
Ohne nun hier auf tiefer gehende Beschreibungen der Zusammenhänge einzugehen (dazu seien dem geneigten Leser die genannten Veröffentlichungen empfohlen), möchte ich es lediglich bei der Feststellung belassen, dass man mit einem entsprechend leistungsfähigen Spektrographen durchaus den Wissensstand der aktuellen astronomischen Forschung an diesem Bedeckungssystem nachvollziehen kann.
Erfreulicherweise sind die dahingehenden Möglichkeiten bereits von einigen Mitgliedern der Fachgruppe SPEKTROSKOPIE aufgegriffen und mit großem Interesse verfolgt worden.

Literaturhinweise:
[1] Flora, U., Hack, M., 1980: Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 19, 57
[2] Harmanec, P., et al., 1996 : Astron. Astrophys. 312, 879

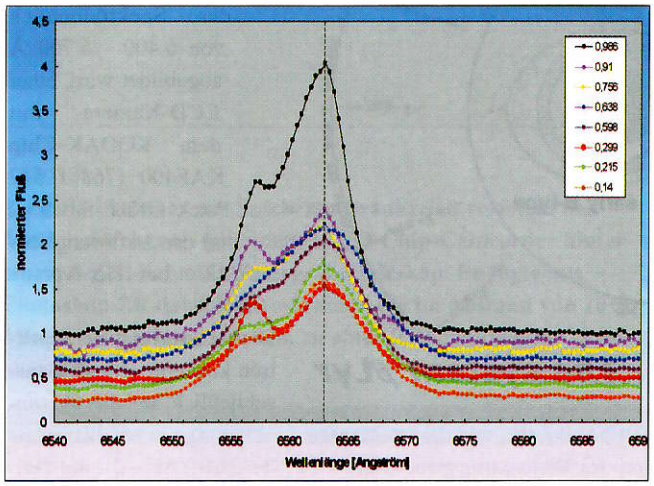

Abb. 3:
Phasenabhängige Profilvariation der Wasserstoffemission Hα

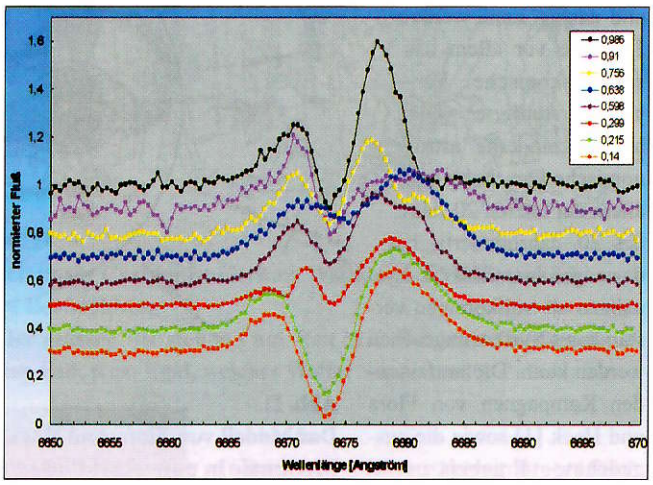

Abb. 4:
Phasenabhängige Profilvariation der Heliumemission bei 6.678 Å

CaII-Profilbeobachtungen an M- und K-Riesensternen

von Ernst Pollmann

In der wissenschaftlichen Spektroskopie gibt es für Amateure kaum Möglichkeiten, qualitativ mit Großobservatorien zu konkurrieren. Anders dagegen verhält es sich in Bezug auf die Quantität von Einzelbeobachtungen. So ist es beispielsweise in der Fachastronomie praktisch unmöglich, für Variationsbeobachtungen, die einer hohen Beobachtungsdichte bedürfen, regelmäßig oder gar kontinuierlich Beobachtungszeiten an Großteleskopen zu erhalten.
Diese Tatsache stellt sich dem berufsmäßigen Astronomen als ein echtes Hindernis dar, wogegen es dem Amateur vergönnt ist, praktisch in jeder klaren Nacht seine Beobachtungen durchzuführen. Bei vielen Roten Riesen ist es bis heute ungeklärt, was zur Variation der CaII-Variation führt. Grundsätzlich ist bekannt, dass die Spektrallinien von Riesensternen in ihrer Stärke und im Linienprofil vielfach Variationen zeigen. So wird unter anderem darüber berichtet, dass die CaII-Linien H und K zeitlich variieren, wobei es vielfach ungeklärt ist, was die Gründe für diese Linienvariationen sind, und es darum von großem Interesse ist, den zeitlichen Verlauf der Linienintensität zu kennen. In diesem konkreten Fall wäre es beispielsweise wichtig, den zeitlichen Verlauf der Emissionsintensität über mehrere Sichtbarkeitsperioden zu kennen bzw. zu beobachten. Mit der entsprechenden instrumentellen Ausstattung hätte hier der spektroskopierende Amateur durchaus die Möglichkeit, einen bescheidenen wissenschaftlich relevanten Beitrag einzubringen.
Bei der sehr starken Kalziumlinie K werden bei vielen Riesensternen drei bis vier Komponenten unterschieden (Abb. 1). Da ist zunächst die photosphärische Absorptionskomponente, die mit K1 bezeichnet wird. Die Photosphäre der Sterne ist die niedrigste erkennbare Atmosphärenschicht und zugleich auch die sichtbare Oberfläche des Sterns, in der der Hauptteil der sichtbaren Strahlung entsteht. Wenn wir den Stern mit einem Spektroskop betrachten, so sehen wir hier ein helles Kontinuum, in dem dunkle Absorptionslinien eingelagert sind.

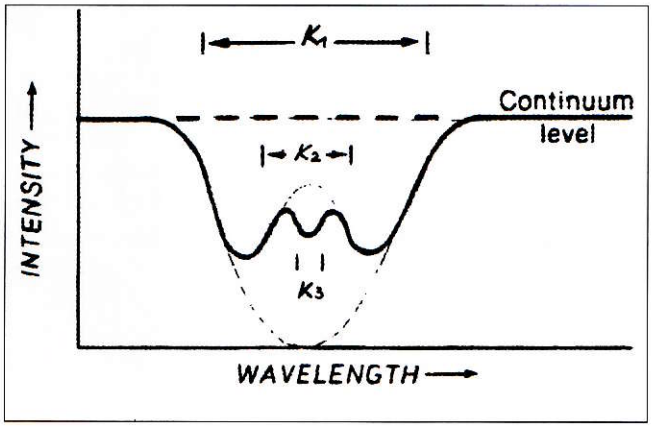

Abb. 1:
Schematische Darstellung eines typischen K-Linienprofils

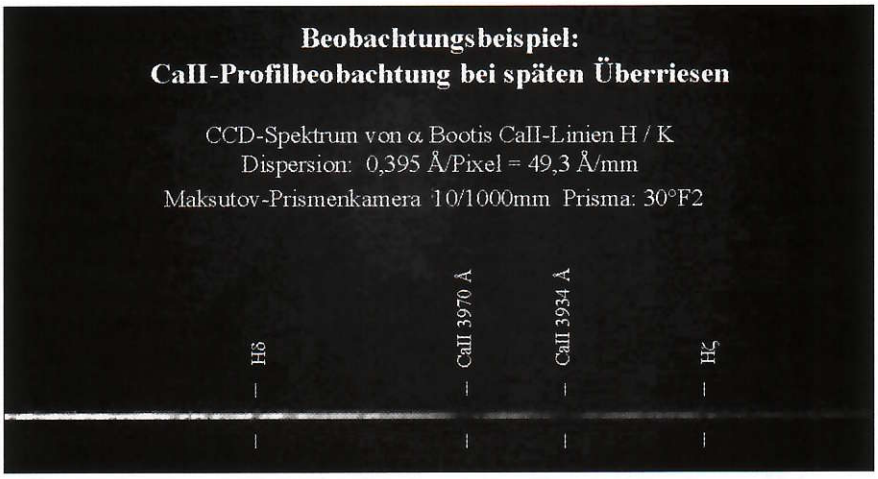

Abb. 2:
CCD-Spektrum von α Ori, aufgenommen mit einem Objektivprismenspektrographen f/10 und f = 1.000 mm; Dispersion = 0,395 entspr. 49,3 Å/mm

Entsprechend dem dritten Kirchhoffschen Gesetz wird ein solches Spektrum produziert, wenn kontinuierliche Strahlung aus dem heißen Sterninnern, kühle verdünnte Gasschichten auf dem Weg zum Beobachter passiert, und diese dabei aus dem Kontinuum Strahlung verschiedener Wellenlängen absorbiert. Soviel zur Erklärung für das Auftreten der breiten Absorptionslinien H und K des ionisierten Kalziums.

Bei detaillierter Betrachtung wird man erkennen, dass im Zentrum der Absorptionslinie eine Emissionskomponente eingelagert ist, die mit K2 bezeichnet wird. Wie kann diese Emission erklärt werden? Entsprechend dem zweiten Kirchhoffschen Gesetz ist es die hochverdünnte, der Photosphäre überschichtete Chromosphäre, in der diese chromosphärische Emissionskomponente entsteht. Dieses Merkmal der chromosphärischen Reemission ist bei α Orionis als M-Riese besonders breit und daher wohl auch Amateurinstrumenten mit etwas geringerem spektralen Auflösungsvermögen zugänglich.

In Riesen und Überriesen hoher Leuchtkraft ist in dieser chromosphärischen Emissionskomponente noch eine zweite Absorptionskomponente eingelagert, die mit K3 bezeichnet wird. Diese Selbstabsorption, wie sie auch genannt wird, entsteht in den Gasatomen der sehr weit über die Chromssphäre hinaus ausgedehnten, dort wieder kühleren atmosphärischen Schichten. Die Linienformen dieser Kalzium-Linie variieren über den K-M-Bereich der Leuchtkraftklassen I-III erheblich. Die Linie unterliegt den Einflüssen aller Bereiche der inneren Sternhülle - der Photosphäre und Chromosphäre, wie auch der äußeren Windbereiche.

Dies dürfte auch der Grund dafür sein, dass sich die CaII-Profile je nach Leuchtkraft und Spektraltyp des Sterns sehr stark unterscheiden. Generell sind die unterschiedlichen Formen der CaII-Linien bei roten Riesen schon lange bekannt, wobei in der Vergangenheit vor allem auf die Breite der K2-Emission besonderes Augenmerk gerichtet worden ist. Bereits relativ kleine Änderungen der physikalischen Gegebenheiten - wie Geschwindigkeit, Dichte, Temperatur, Ionisationszustände, können hier sichtbar werden. Die Linie zerfällt in drei bis vier Komponenten, die eine grobe, geometrische Unterscheidung der variierenden Bereiche ermöglichen.

Daher eignet sich diese Linie besonders gut zur Untersuchung von zeitlichen Variationen in Sternatmosphären. Variationen in den Hüllen Roter Riesen verdienen dabei besonderes Interesse, weil die Ursachen, die bei solchen Sternen zur Windbeschleunigung führen, noch nicht völlig geklärt sind. Um die hierzu existierenden verschiedenen Theorien zu überprüfen und zu vergleichen, sind Beobachtungsdaten aus den Bereichen des Sternwindes erforderlich, wobei oftmals nicht klar ist, in welchen Höhenbereichen die jeweils beobachtete Linie entsteht.

Für solche Untersuchungen kommen nur die wenigen Linien in Frage, die in den beobachteten Höhenschichten über der Sternoberfläche noch opak genug sind, so dass Untersuchungen über die Form des gesamten Profils Aufschluss über die zugrunde liegenden physikalischen Prozesse liefern. Gerade bei α Orionis gab es kaum Bemühungen, bei den CaII-Linien Profiländerungen über einen längeren Zeitraum hinweg zu untersuchen. Von Astronomen der Hamburger Sternwarte ist schon vor mehreren Jahren darauf hingewiesen worden, von α Orionis und einigen anderen Roten Riesen Überwachungsspektren aufzunehmen, wobei hierzu die Auflösung des Spektrographen etwa 1 Ångström oder besser sein sollte.

Wie die Tabelle 1 zeigt und wie eingangs bereits erwähnt, ist die chromosphärische Emission (K2R - K2V) bei diesem Stern besonders breit und daher wohl auch dem geringeren Auflösungsvermögen von Amateurspektrographen zugänglich.

Der Weg zu einem gut belichteten, d. h. optimal geschwärzten und auch sonst gut auswertbaren Spektrum zu gelangen ist jedoch nicht so leicht wie man sich das zunächst vorstellt. Wie gesagt, muss als wichtigste Voraussetzung ein Auflösungsvermögen von 1 Ångström oder besser angestrebt werden. Dies erfordert eine Mindestdispersion im Wellenlängenbereich der CaII-Linien von etwa 50 Å/mm, lange Brennweiten der Primäroptik und eine sehr sauber arbeitende Nachführung. Riesen der Spektralklasse K-M haben in dem Wellenlängenbereich der CaII-Linien H (3969 Å) und K (3934 Å) kaum Strahlungsfluss, was bedeutet, dass man fotografisch bei Verwendung von z. B. KODAK TMAX400 mit relativ langen

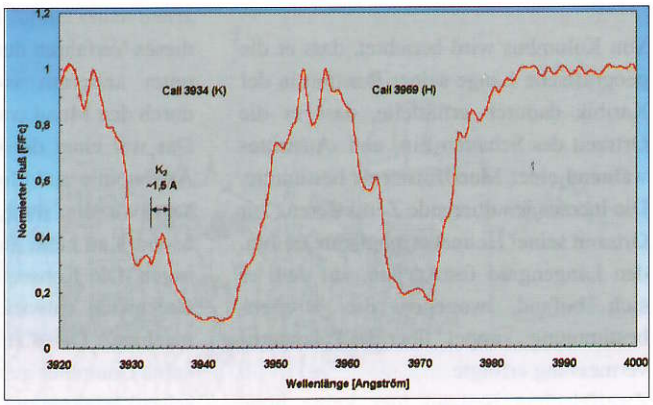

Abb. 3:
Normiertes CCD-Spektrum von α Orionis im Bereich der H- und K-Linien

Stern	Typ	$K1_R - K1_V$ [Angström]	$K2_R - K2_V$ [Angström]
α Ceti	M2 III	2,17	0,85
γ Hyi	M0 III	1,82	0,72
γ Eri	M0 III	1,79	0,71
α Tau	K5 III	1,8	0,66
α Ori	M1 Iab	2,97	1,4
π Pup	K8 Iab + B5	3,13	1,22
χ Pup	K3 II + A0	-	-
ε Car	M3 Ib + B4V	2,95	1,21
α Hya	K3 III	1,8	0,76
γ Cru	M3 III	1,89	0,7
α Sco	M1 Ib	3,12	1,3
α Boo	K2 IIIp	1,54	0,64
δ Oph	M1 III	1,81	0,8
α Tra	K2 III	2,59	0,98
β Ara	K3 Ib	2,7	1,45

Tab. 1:
Mittlere Abstände für die K1-Minima und die K2-Maxima

Belichtungszeiten rechnen muss.
Versuche mit diesem Film an α Ori und einem Prismenspektrographen von 10 cm Öffnung und 1.000 mm Brennweite (Prisma 30° F2) führten bei unverbreitertem Spektrum zu Belichtungszeiten in Kulmination von etwa 20 Minuten, wobei im genannten Spektralbereich sich die Schwärzung im Spektralbereich der H- und K-Linien als noch völlig unzureichend herausstellte. An der für diese Beobachtungsaufgabe zu geringen Blauempfindlichkeit der gängigen Filmemulsionen (hier KODAK TMAX400) wird man auch durch Hypersensibilisierung nicht viel ändern können. Bei Verwendung von Amateurspektrographen dieser Dispersion bedeutet dies, dass man nur erfolgreich gut belichtete, unverbreiterte Spektren mit Belichtungszeiten der Größenordnung mindestens 45 Minuten erhält.
Weniger problematisch stellt sich diese Beobachtungsaufgabe bei Verwendung von CCD-Kameras dar. Zwar haben die gängigen Chips im Spektralbereich der CaII-Linien auch nur 10-30 % Quantenausbeute, gleichwohl werden die Belichtungszeiten um Größenordnungen niedriger liegen als bei Verwendung von Filmemulsionen. Bei dem CCD-Spektrum in Abbildung 2 handelt es sich um ein so genanntes Summenspektrum aus 20 Einzelaufnahmen mit jeweils 64 Sekunden Belichtung, gewonnen mit der Kamera CCD14SC (OES) in Verbindung mit einem Maksutov-Prismenspektrographen, der mit einem F2-Prisma und einem brechenden Winkel von 30° ausgestattet war.
Der Scan dieses Rohspektrums mit anschließender Normierung (d. h. Beseitigung des Pseudokontinuums) führte zu dem Spektrum in Abbildung 3.
Details, wie sie in dieser Darstellung in Erscheinung treten, sind im Rohspektrum der Abbildung 2 absolut nicht zu erkennen, ganz zu schweigen von der in der K-Linie eingebetteten Emissionskomponente K2, die hier mit einer Breite von etwa 1,5 Å ermittelt werden konnte. Der Versuch zeigt überraschenderweise, dass mit CCD-Kameras bestückte Objektivprismenspektrographen der Dispersion 49 Å/mm durchaus in der Lage sind, derart spektroskopische Feinheiten in Spektren heller Überriesen, zudem in Bereichen relativ geringen Strahlungsflusses, nachzuweisen. Wilson (1954, 1959, 1967, 1970a, 1970b, 1976) sowie Wilson und Bappu (1957) fanden für Rote Riesen eine lineare Beziehung zwischen der Breite der Komponente und absoluter visueller Helligkeit (Wilson-Bappu-Effekt). Reimers (1973) zeigte, dass sie im Grunde von den physikalischen Parametern g (Schwerebeschleunigung) und T_{eff} (Effektivtemperatur) abhängt.

Literaturhinweise
[1] Wilson, O C., 1954: in Proc. of the National Science Foundation Conference on Stellar Atmospheres, Indiana University Press
[2] Wilson, O C., 1959. Astrophys. J. 130, 499
[3] Wilson, O.C., 1967: Publ. Astron. Soc Pacific 79, 46
[4] Wilson, O.C , 1970a: Astrophys. J. 160, 225
[5] Wilson, O.C., 1970b. Publ Astron. Soc. Pacific 82, 865
[6] Wilson, O C., 1976: Astrophys J. 205, 823
[7] Reimers, D., 1973: Astron. Astrophys. 24, 79

Sternbedeckungen: Vergangenheit und Zukunft

von Hans-Joachim Bode (IOTA/ES)

Von Kolumbus wird berichtet, dass er die geografische Länge seiner Position in der Karibik dadurch ermittelte, dass er die Ortszeit des Schatten-Ein- und -Austrittes während einer Mondfinsternis bestimmte. Die hieraus resultierende Zeitdifferenz zur Ortszeit seiner Heimat ermöglichte es ihm, den Längengrad festzulegen, auf dem er sich befand, wogegen die Breitenbestimmung „simpel" über die Polarsternvermessung erfolgte.
Zweifelsohne bestand hier keine hohe Messgenauigkeit, weshalb in den folgenden Jahrhunderten – auch wegen der Seltenheit dieser Himmelserscheinung – dieses Verfahren durch Zeitbestimmungen unter anderem von Sternbedeckungen durch den Mond ersetzt wurde.
Das war einer der Gründe die rechnende Astronomie aufzufordern, Ereignisse dieser Art als auch Annäherungen des Mondes an helle Sterne präzise vorherzusagen. Die Konsequenz: Das HMNAO in Greenwich entwickelte die „occultationmachine". Da es zur damaligen Zeit noch keine Computer gab, wurde hier ein grafisches Verfahren mit anschließender detaillierter Berechnung „maschinell" praktiziert. Bis in die fünfziger Jahre des 20. Jahrhunderts wurden so Sternbedeckungen berechnet. Basis war der Zodiakal-Katalog (ZC), welcher 3.539 Sterne bis zur Größenklasse 7,5 mag enthält: Die Vorhersagegenauigkeit betrug im Mondäquatorbereich ca. 0,1 Minuten.
Verbesserte Positionsbestimmungsmöglichkeiten in der Seefahrt haben mittlerweile Sternbedeckungen für diese Zwecke überflüssig gemacht – neben der Tatsache, dass oft genug das Wetter einen Strich durch die Rechnung zieht: Erwähnt seien hier die beiden Venusdurchgänge deutscher Expeditionen 1874/1882, deren Rahmenprogramm darin bestand, mehrere 1.000 Sternbedeckungen beobachten zu