

Eliminierung von tellurischen Linien aus Sternspektren

Tellurische Linien in den Spektren der Sterne werden durch die Absorption des Lichts beim Durchgang durch die Erdatmosphäre hervorgerufen. Am auffälligsten sind die Linien der Wasser- und Sauerstoffmoleküle (Abb. 1). Da die tellurischen Linien nahezu unverbreitert und im Verhältnis zu den stärkeren Linien der Sterne relativ schwach sind, treten sie erst in Spektralaufnahmen mit einer höheren Auflösung ab ca. $R=10000$ deutlich in Erscheinung. Aber auch schon in Spektren mit einer Auflösung von ca. $R=3000$ sind sie bei ungünstigen atmosphärischen Bedingungen erkennbar. Die Intensität der tellurischen Linien wird bestimmt durch die Anzahl der absorbierenden Moleküle auf dem Weg des Lichts durch die Atmosphäre. Diese hängt von einer Vielzahl von Faktoren, wie der Höhe des Objekts über dem Horizont, der Höhe des Beobachtungsortes über dem Meeresspiegel, der Luftfeuchtigkeit, dem Luftdruck etc. ab. Um die störenden Einflüsse der Erdatmosphäre auf die astronomischen Beobachtungen zu reduzieren, werden u. a. deshalb die modernen Sternwarten der professionellen Astronomie auf hohen Bergen errichtet.

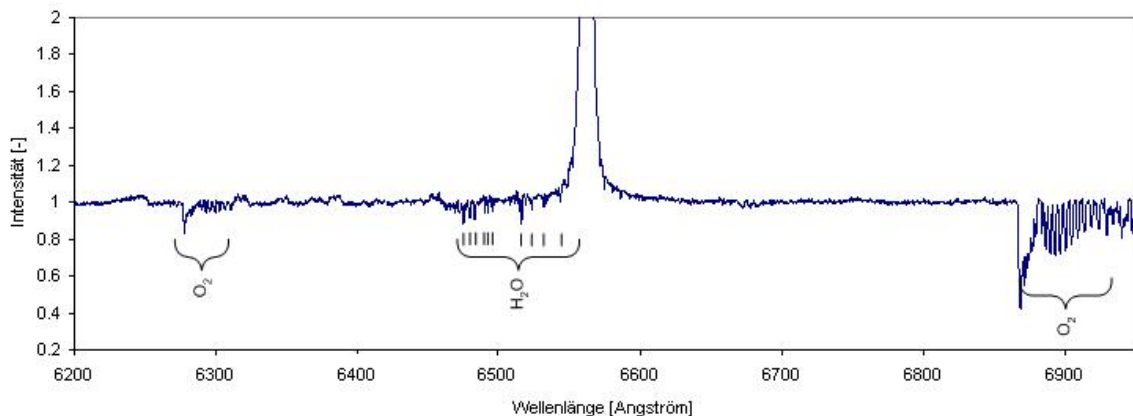


Abb.1: Spektrum von gamma Cas mit einigen markierten tellurischen Linien, Quelle: BeSS (Aufnahme von Chr. Buil)

Da tellurische Linien keine Dopplerverschiebung aufweisen, können sie sinnvoll zur genauen Wellenlängenkali­bration der Spektren benutzt werden. Andererseits ist das Vorhandensein dieser Linien oftmals unerwünscht, da wichtige Messgrößen, wie die Ö Äquivalentbreite (EW) von Spektrallinien oder die gemessene Radialgeschwindigkeit, abhängig von den konkreten Beobachtungsbedingungen mehr oder weniger stark verfälscht werden können. Aus diesem Grund ist eine Eliminierung dieser Linien aus den Spektren oftmals erwünscht. Meine Vorgehensweise hierbei möchte ich auf dieser Seite darstellen. Zunächst muss ein Absorptionslinienspektrum für die zu entfernenden Linien im betreffenden Spektralbereich und der Spektrographenauf­lösung errechnet werden. Anschließend wird mit einem solchen Referenzspektrum durch Faltung das Sternspektrum von den störenden Linien bereinigt.

Erzeugung der Spektren von tellurischer Linien

Die sehr scharfen terrestrischen Absorptionslinien werden entsprechend der Apparatefunktion des Spektrographen verbreitert. In erster Näherung kann die Apparatefunktion durch eine Gaußkurve (Gl. 1) abgebildet werden, deren Breite von der Auflösung des Spektrographen bestimmt wird.

$$G_{\lambda} = I_L \cdot e^{-\frac{2.78}{A^2}(\lambda - \lambda_L)^2} \quad (\text{Gl. 1})$$

I_L - Intensität der Linie, A - Auflösung des Spektrographen in Ang., λ - Linienwellenlänge in Ang.

Zur Berechnung eines Absorptionsspektrums der atmosphärischen Linien, das an die Spektrographenauf­lösung angepasst ist, benötigt man eine Liste mit den Linienwellenlängen und den zugehörigen Linienintensitäten. Für meine Berechnungen verwende ich Liniendateien der HITRAN-Datenbank (high-resolution transmission molecular absorption database), die man z.B. auf der Webseite spectralcalc.com abrufen kann. Aus diesen Listen errechne ich dann Spektren mit "unendlich scharfen Linien" und äquidistanten Stützstellen in der Wellenlänge. Anschließend werden

diese Spektren mit "unendlicher Auflösung" mit der Apparatefunktion gefaltet, so dass sich Spektren mit der entsprechenden spektralen Auflösung ergeben. Alternativ zu dieser Vorgehensweise kann man auch für jede Linie nach (Gl. 1) eine Gaußkurve berechnen und diese anschließend additiv überlagern.

In Abb. 2 ist das Wasserspektrum im Bereich der Halpha-Linie für verschiedene spektrale Auflösungen dargestellt. Diese Gegenüberstellung zeigt deutlich, dass mit abnehmender Spektrographenauflösung immer weniger Linien aufgelöst, respektive nur noch als Blends beobachtet werden können.

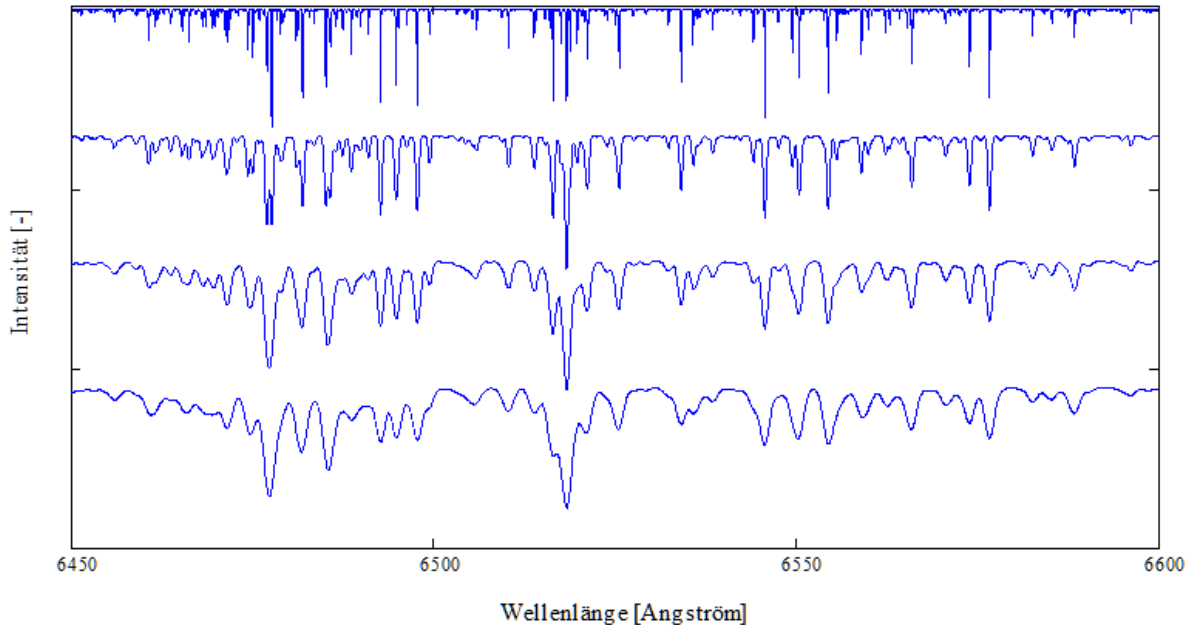


Abb. 2: Absorptionsspektrum der terrestrischen Wasserlinien für unterschiedliche spektrale Auflösungen (von oben nach unten: unverbreitert, R=13000, R=6500, R=4300)

Eliminierung der tellurischer Linien aus einem Sternspektrum

Die Eliminierung der atmosphärischen Linien aus einem Sternspektrum kann nun recht einfach durch Faltung mit einem solchen Referenzspektrum, das für die jeweilige Spektrographenauflösung errechnet wurde, erfolgen, wobei man durch einen Faktor k die Linienintensität entsprechend der Stärke der atmosphärischen Linien skalieren muss. Zu beachten ist auch, dass die Linien verschiedener Elemente gesondert mit separaten Referenzspektren entfernt werden müssen, da ihr Intensitätsverhältnis zueinander nicht konstant ist. Folgende mathematische Schritte sind im einzelnen erforderlich:

- Da in den HITRAN-Listen die Vakuumwellenlängen für die Linien angegeben werden, müssen diese auf die Luft umgerechnet werden. Für bodennahe Bereiche beträgt der Brechungsindex für Luft ca. 1.00027. Da der Brechungsindex vor allem vom Luftdruck abhängt, muss man entsprechend der Höhe des Beobachtungsortes und der atmosphärischen Bedingungen zum Zeitpunkt der Beobachtung geringfügige Korrekturen vornehmen.
- Das Referenzspektrum muss in der Wellenlänge so mit einem geeigneten Interpolationsverfahren umgerechnet werden, dass sich gleiche Stützstellen zum Sternspektrum ergeben.
- Die Eliminierung erfolgt nun mit Gl. (2):

$$I(\lambda)_{\text{korr}} = \frac{I_{\text{Spektrum}}(\lambda)}{k \cdot I_{\text{Referenz}}(\lambda) + 1} \quad (2)$$

der Faktor k wird so lange variiert, bis das beste Ergebnis erzielt wurde.

Abschließend noch einige Beispiele, die verdeutlichen sollen, wie gut eine Korrektur tellurischer Linien mit der auf dieser Seite beschriebenen Vorgehensweise möglich ist:

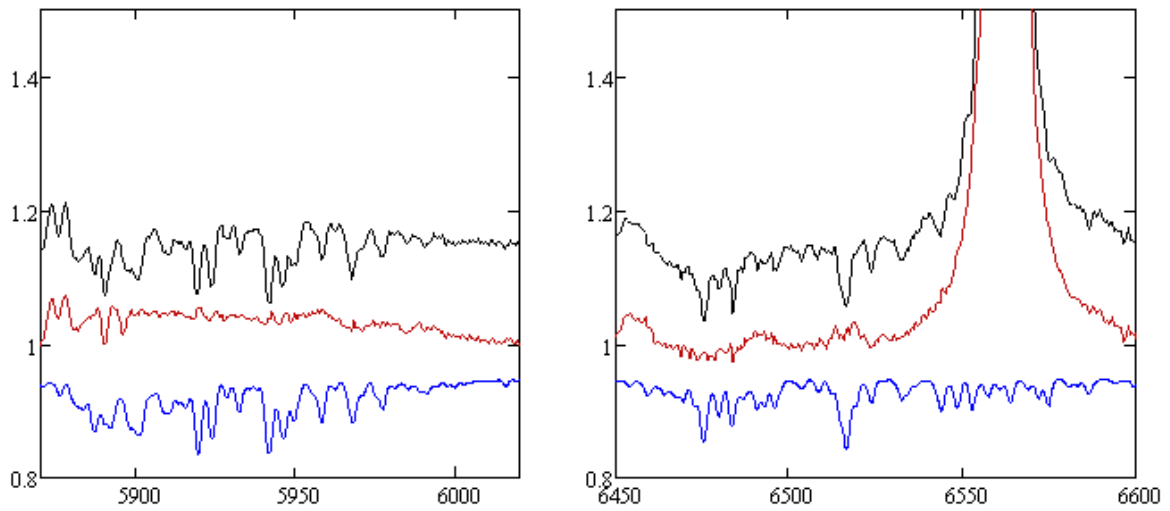


Abb.3: Spektrum von gamma Cas, R=3500 (von oben nach unten: Originalspektrum, Spektrum ohne Wasserlinien, Referenzspektrum).

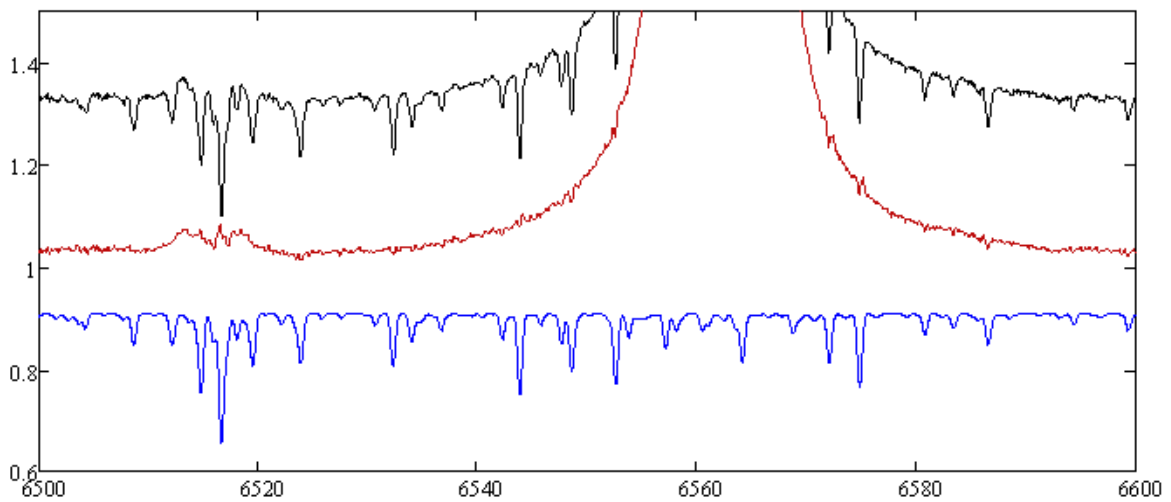


Abb.4: Spektrum von gamma Cas, R=13000 (von oben nach unten: Originalspektrum, Spektrum ohne Wasserlinien, Referenzspektrum), Quelle: BeSS (Aufnahme von Chr. Buil).

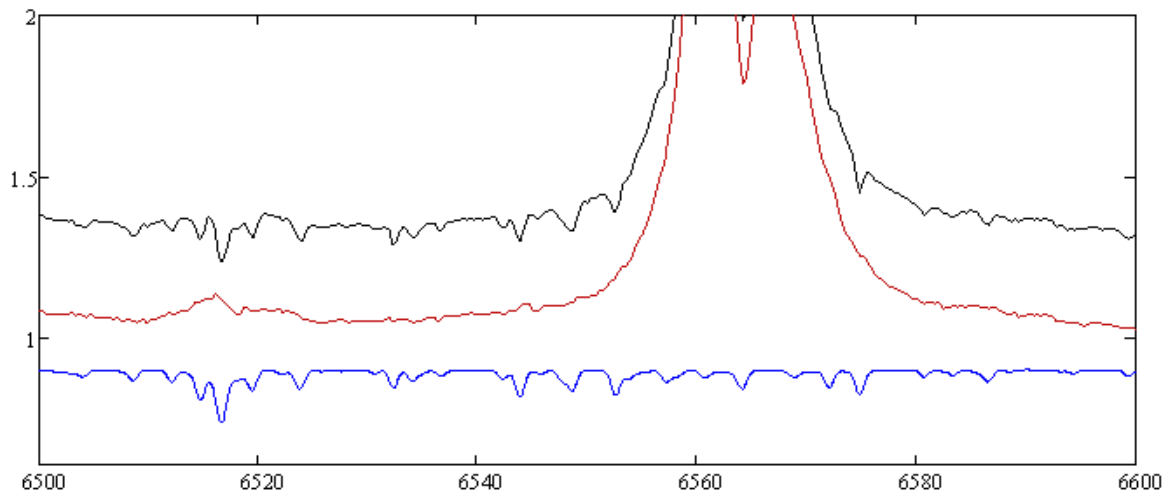


Abb.4: Spektrum von zeta Tau, R=7000 (von oben nach unten: Originalspektrum, Spektrum ohne Wasserlinien, Referenzspektrum), Quelle: BeSS (Aufnahme von J. Guarro Flo).

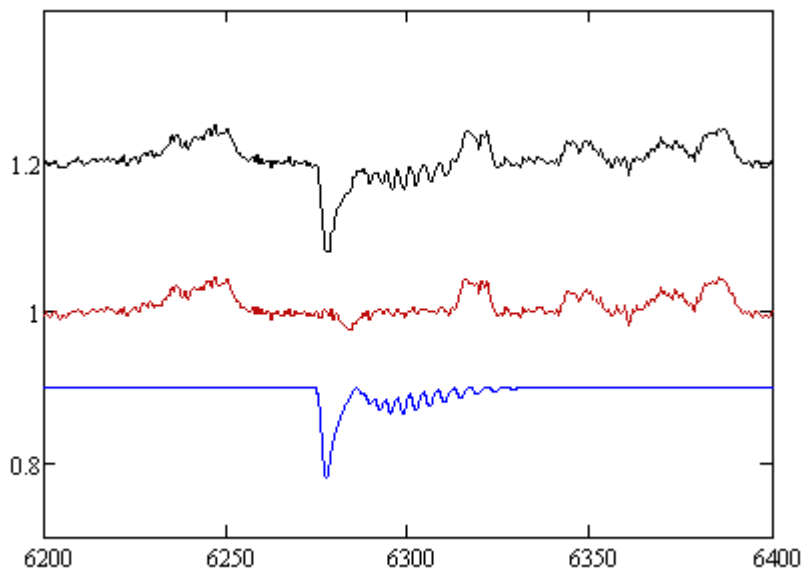


Abb.5: Spektrum von gam Cas, R=3500 (von oben nach unten: Originalspektrum, Spektrum ohne Sauerstofflinien, Referenzspektrum),.

Danksagung

Diese Arbeit wurde unter Benutzung der BeSS Datenbank, die von GEPI, Observatoire de Meudon, Frankreich, betreut wird, angefertigt: <http://basebe.obspm.fr>.

Ich danke den Beobachtern Christian Buil und Joan Guarro Flo für die Bereitstellung ihrer Spektren.