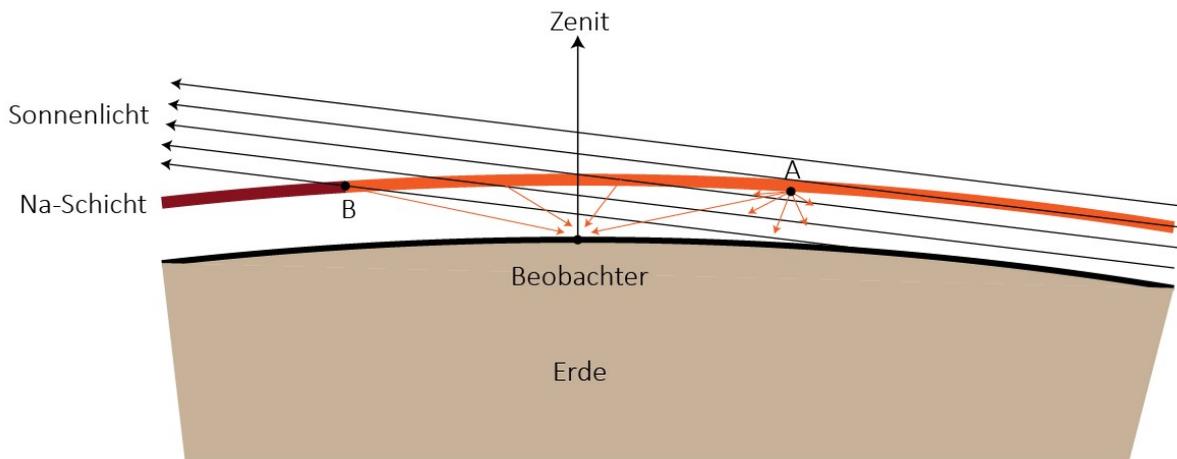


# Der „Natrium-Flash“

Peter Schlatter und Andreas Ulrich

## 1. Das Phänomen

Dass die Atmosphäre der Erde astronomische Beobachtungen beeinflusst ist offensichtlich. Lichtbrechung und Absorption modifizieren den Ort und das Spektrum astronomischer Objekte. Meist wird jedoch nicht gleich bedacht, dass die Atmosphäre selbst leuchten kann. Blitze und Polarlicht [1] und ihr jeweiliger Lichterzeugungsmechanismus sind noch gut bekannt. Am Tage und bis tief in die Dämmerung weist der blaue Himmel auf Sonnenlicht hin, das in der Atmosphäre gestreut wird. Dass hochenergetische kosmische Strahlung tief in die Atmosphäre eindringt und diese in charakteristischer Weise in kurzen Pulsen zum Leuchten anregt, wurde in dieser Zeitschrift bereits diskutiert [2]. Neben der Anregung der Atmosphäre durch Teilchen oder Gammastrahlung gibt es jedoch auch noch eine Fluoreszenzanregung, die in der Dämmerung mit relativ einfachen Mitteln beobachtet werden kann: Der so genannte „Natrium-Flash“. Von dieser Erscheinung soll hier berichtet werden.



*Abbildung 1: Das Licht der untergehenden (oder aufgehenden) Sonne regt die Natriumschicht der Atmosphäre (hier orange dargestellt) zur Emission von Resonanzlicht an (A). Bei der Beobachtung vom Boden aus ist der Effekt bis in Richtung zum Punkt B zu beobachten. Bei der gezeigten Situation (Sonne 7 Grad unter dem Horizont) ist das Streulicht der Sonne schon so schwach, dass das Resonanzleuchten der Atmosphäre das Spektrum des gestreuten Sonnenlichtes überstrahlt (siehe Spektren in den Abbildungen unten).*

In der oberen Atmosphäre, in einer Höhe von ca. 80 bis 100 km, befinden sich neben dem atomaren Sauerstoff und Stickstoff, der beim Polarlicht leuchtet, auch Natrium, ebenfalls in atomarer Form. Seit den Arbeiten von Joseph von Fraunhofer, sowie Kirchhoff und Bunsen ist die Natrium-D-Linie wohlbekannt. Das „D“ hat Fraunhofer selbst eingeführt [3], als er die stärkeren Fraunhoferlinien vom Roten zum Blauen hin klassifiziert hat. Bei der Na-D Linie handelt es sich eigentlich um zwei so genannte Resonanzlinien von Natrium. Dies sind Spektrallinien, die beim Übergang der Atome zwischen dem energetischen Grundzustand und den ersten angeregten Niveaus absorbiert bzw. emittiert werden. Die Zuordnung der Linien ist wie folgt (NIST Data base: [http://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines\\_form.html](http://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines_form.html), sowie Referenz [4]):

Natrium D<sub>1</sub>: 589,5924237 nm,  $A_{ki}=6.14 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$ ,  $2p^6 3s^2 S_{1/2}$  unten,  $2p^6 3p^2 P^o_{1/2}$  oben

Natrium D<sub>2</sub>: 588,9950954 nm,  $A_{ki}=6.16 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$ ,  $2p^6 3s^2 S_{1/2}$  unten,  $2p^6 3p^2 P^o_{3/2}$  oben.

Diese optischen Übergänge werden durch das Sonnenlicht angeregt und erzeugen ein Fluoreszenzlicht. Mit einfachen Mitteln kann dieses recht schwache Leuchten allerdings nur in der Dämmerung beobachtet werden, wenn die Sonne am Beobachtungsort zwar noch die hoch liegende Natriumschicht beleuchtet, das Streulicht der tieferen Atmosphäre aber schon sehr schwach geworden ist. Die geometrischen Verhältnisse sind in der schematischen Skizze in Abbildung 1 dargestellt. Dabei ist der Sonnenstand, bei dem der Effekt auftritt, realistisch dargestellt (Sonne 7 Grad unter dem Horizont). Es ist zudem zu bedenken, dass es sich, wie gesagt, um Resonanzanregung handelt. Das heißt, dass nur Sonnenlicht im Bereich der Natriumlinien diese anregt. Das Natrium in der Sonnenatmosphäre führt aber dazu, dass bei diesen Wellenlängen starke Fraunhoferlinien liegen, die Sonne dort also weniger Licht aussendet als im spektral benachbarten Kontinuum. Dies führt bei der Beobachtung mit hinreichender spektraler Auflösung zu interessanten Linienformen, die weiter unten diskutiert werden. Dass die Anregung trotzdem überhaupt stattfindet liegt daran, dass das Sonnenlicht im Bereich der Fraunhoferlinien nicht ganz ausgelöscht, sondern nur in der Intensität reduziert ist, ähnlich wie im Räumlichen die Sonnenflecken nicht vollständig dunkel sind.



*Abbildung 2: Experimenteller Aufbau zur Beobachtung des Natrium-Flashes mit dem Dados Spektrometer. Das Spektrometer ist das Objekt, das aus zwei weißen Würfeln besteht und an einem Fotostativ befestigt ist. Das Licht tritt von oben senkrecht ein. Die drei Spalte des Spektrometers werden auf die Atik CCD Kamera (dunkelrot, links) abgebildet. Die Daten werden über eine USB Schnittstelle in einen Rechner eingelesen (rechts). Das Okular zur Ausrichtung des Spektrometers (rechts über dem Rechner) ist abgedeckt, um den Eintritt von Umgebungslicht zu vermeiden.*

Die Resonanzfluoreszenz der Natriumschicht hat mittlerweile in der Astronomie eine große praktische Bedeutung gewonnen, da sie dazu verwendet wird, künstliche Leitsterne für die adaptive Optik von Teleskopen zu erzeugen [5]. Dazu wird ein Laserstrahl, der auf eine der Resonanzlinien abgestimmt ist, in diese Schicht fokussiert. Das so erzeugte Resonanzlicht dient dann als Leitstern. Details des Phänomens sind zum Teil sehr interessant, sollen hier aber nicht weiter diskutiert werden. So ist zum Beispiel zu bedenken, dass das Spektrum des

anregenden Sonnenlichtes durch die Rayleigh-Streuung in Abhängigkeit von der Wegstrecke, das es durch die Atmosphäre bis zur Natriumschicht zurücklegt, modifiziert wird. Interessant ist noch, dass das Natrium nicht etwa von der Erdoberfläche aus, zum Beispiel vom Natriumchlorid in den Weltmeeren, in die Hochatmosphäre gelangt. Es stammt vielmehr von Meteoriten, die in dieser Höhe bei der Abbremsung verdampfen und das Natrium in der Na-D Schicht nachliefern.

## 2. Die Beobachtung

Die spektroskopische Beobachtung des Na-Flashs ist relativ einfach. Es muss lediglich ein Spektrometer geeigneter spektraler Auflösung ohne Nachführung zum Beispiel vertikal auf den Himmel gerichtet werden. Es sollte mit einem empfindlichen Detektor ausgerüstet sein. Ein Teleskop oder eine anders geartete Sammellinse ist nicht unbedingt notwendig. Anders als bei anderen Himmelsobjekten ist Licht des Na-Flashs eine vollständig flächenhafte Lichtquelle am Himmel. Das endliche Öffnungsverhältnis des Spektrometers erfasst davon einen Anteil aus einem Himmelsausschnitt, der durch dieses Öffnungsverhältnis bestimmt ist. Eine Lichtsammeloptik bietet zwar dem von der Na-Schicht ausgesandten Licht eine größere Fläche dar und leitet dieses Licht in den Spalt des Spektrometers. Man kann sich aber rechnerisch davon überzeugen, dass dadurch der beobachtete Himmelsausschnitt so eingengt wird, dass das Signal am Detektor gleich groß ist wie ohne Optik. Dies gilt natürlich nur so lange die Flächenhelligkeit am Himmel für den Vergleich als homogen angenommen werden kann.

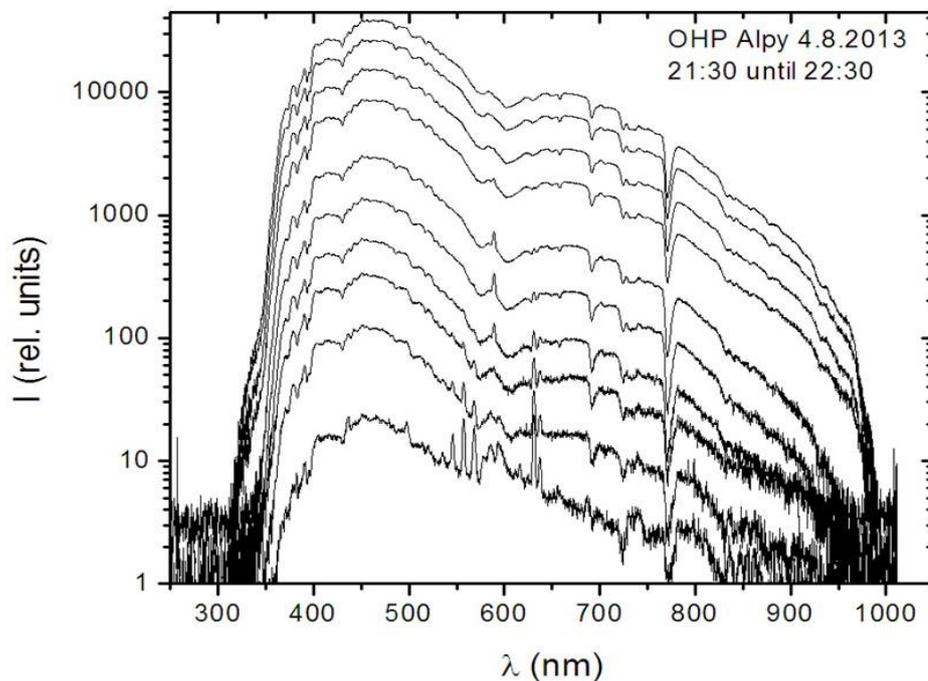


Abbildung 3: Die Spektren, die mit niedriger Auflösung aufgenommen wurden, zeigen den gesamten Spektralbereich vom nahem Ultraviolett bis zum nahem Infrarot. Die 10 Spektren wurden in der Zeit von ca. 21:30 bis 22:30 MESZ aufgenommen (von oben nach unten). Die Belichtungszeit wurde dabei von 90 sec auf bis zu 1200 sec verlängert, um die schwindende Lichtstärke zu kompensieren. Der Natrium-Flash ist rot markiert.

Die im nächsten Abschnitt vorgestellten Daten haben die Autoren im Sommer 2013 anlässlich eines Treffens von Amateur-Astro-Spektroskopikern am Observatoire de Haute Provence (OHP) in Südfrankreich aufgenommen. Als Spektrometer dienten ein „Alpy“ von der Firma Sheliak und ein „Dados“ der Fa. Baader Planetarium<sup>1</sup>. Als Detektor diente in beiden Fällen ein CCD Detektor vom Typ Atik 8 KAF 8300 Monochrom. Weitere, hoch aufgelöste Beobachtungen wurden von einem der Autoren (PS) am 15. August 2013 in Wohlen b. Bern mit einem Lhires Spektrometer und einem CCD-Detektor des Typs QSI 516 durchgeführt. Der Aufbau mit dem Dados Spektrometer ist in Abbildung 2 gezeigt. Dieses Foto zeigt das Spektrometer, das so an einem Stativ montiert ist, dass Licht von der Zenitregion in das Spektrometer eintritt. Das Okular für die Nachführung ist abgedeckt, um das Eintreten von Fremdlicht zu vermeiden. Die Atik-Kamera (dunkelrot) ist links im Bild zu sehen. Die zweidimensionalen Bilder, welche die Kamera liefert, wurden mit dem Programm „ImageJ“ in Spektren verwandelt, bei denen die relative Intensität in Abhängigkeit von der Wellenlänge aufgetragen ist. Die Intensitätsskala wurde hierbei nicht kalibriert.

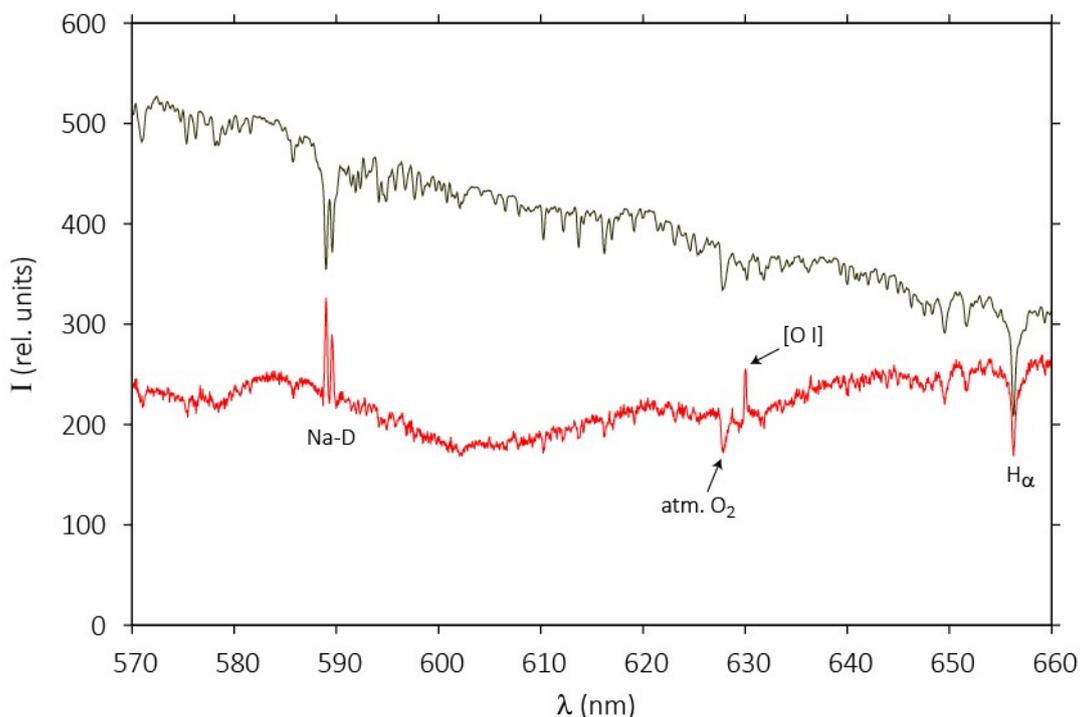


Abbildung 4: Die hier gezeigten Spektren wurden mit dem Dados Spektrometer aufgenommen. Das obere, frühe Spektrum zeigt das Streulicht der Sonnenstrahlung mit den Fraunhoferlinien. Die beiden Natrium-D-Linien sind aufgelöst. Beim späteren Spektrum, unten, ist der Natrium-Flash deutlich zu erkennen. Es deutet sich an, dass die Linien schmaler sind als die Fraunhofer-Na-D-Linien. Als weitere Emissionslinie erscheint die Auroralinie des Sauerstoffs (OI). Zudem sind die Fraunhoferlinie des Wasserstoffs (H<sub>α</sub>) und eine molekulare Absorptionslinie der Atmosphäre zu erkennen (O<sub>2</sub>).

### 3. Ergebnisse: Spektren zum Natrium-Flash

Die Abbildung 3 zeigt Daten, die mit dem relativ niedrig auflösenden Spektrometer „Alpy“ aufgenommen wurden. Die in dieser Abbildung gezeigte Serie von Spektren wurde am 4.8.2013 am OHP in der Zeit von ca. 21:30 bis 22:30 MESZ aufgenommen. Die frühen Spektren haben die hohe Intensität. Der spektrale Verlauf der Intensität repräsentiert zunächst das Sonnenlicht, das in der Atmosphäre gestreut wird. Damit zeigen sich die Fraunhoferlinien,

wie z.B. H und K bei ca. 400 nm, sowie die starken Absorptionslinien, die durch Wasserdampf in der Atmosphäre hervorgerufen und ebenfalls den Fraunhoferlinien zugerechnet werden [3]. Selbst ohne eine Intensitätskalibrierung ist der starke Blauanteil in Folge der Rayleigh-Streuung des Sonnenlichtes ersichtlich. Der Natrium-Flash bei etwa 590 nm (siehe oben) deutet sich schon beim vierten Spektrum der Serie an und ist bis zum siebenten Spektrum zu beobachten. In den späten Spektren treten weitere Emissionslinien auf, auf die wir hier aber nicht weiter eingehen möchten.

Mit dem DADOS Spektrometer wird die Na-D-Linie in ihre zwei Komponenten aufgelöst. Die beiden Spektren in Abbildung 4 zeigen einen Wellenlängenausschnitt des Himmelslichtes von 570 bis 660 nm. Das untere Spektrum wurde bei einer Sonnenhöhe von  $-7$  Grad aufgenommen. Es wird ersichtlich, dass sich mit fortschreitender Dämmerung der Verlauf der Kontinuumsstrahlung signifikant ändert und der Natrium-Flash ganz deutlich auftritt. Es deutet sich auch an, dass die Emissionslinien schmäler sind als die Na-D-Linien im Sonnenspektrum. Im gezeigten Wellenlängenintervall ist noch der Flash einer Sauerstofflinie (OI) erkennbar.

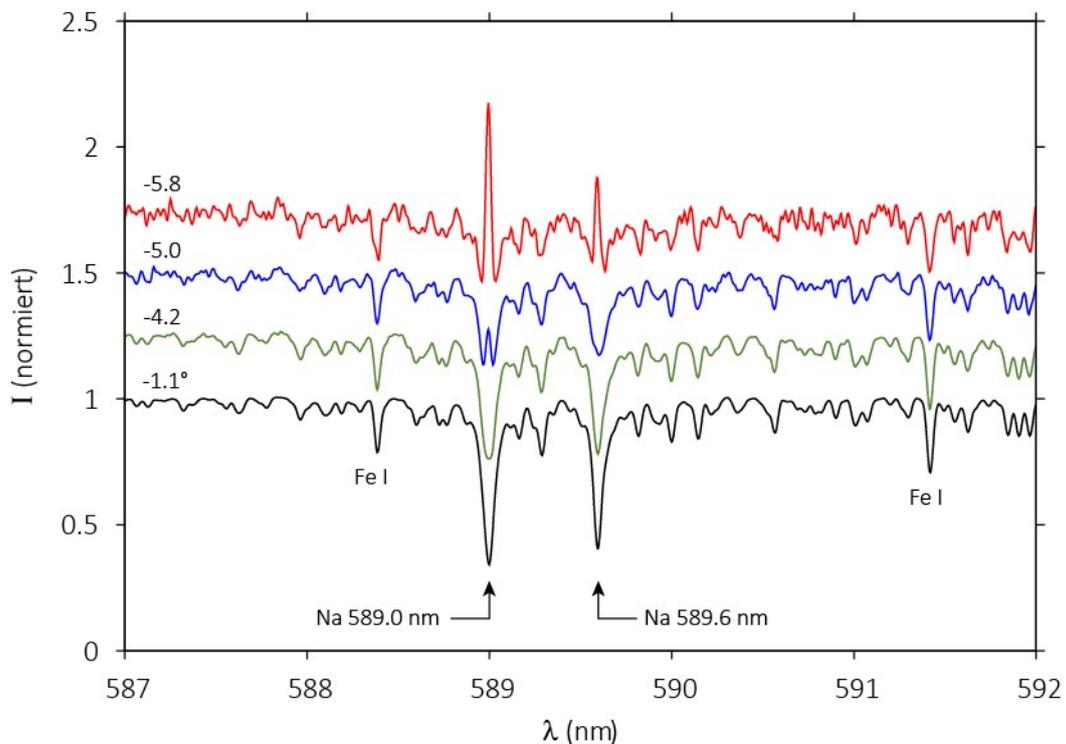


Abbildung 5: Die vier Spektren wurden mit dem Lhires Spektrometer mit hoher Auflösung aufgenommen. Das frühe Spektrum (unten) zeigt eine Vielzahl von Fraunhoferlinien in einem 5 nm breiten Wellenlängenbereich um die beiden Na-D-Linien, so auch zwischen den gut aufgelösten D-Linien. Bei den späteren Spektren (weiter oben) ist zu sehen, wie die Resonanzfluoreszenz mit einer geringeren Linienbreite als die Fraunhoferlinien schrittweise beginnt, die Na-Linien zu dominieren. Die negativen Zahlen am linken Bildrand geben die Sonnenhöhe zur Zeit der Belichtungsmittelpunkte an.

Eine Serie von Spektren zum Na-Flash mit sehr guter spektraler Auflösung zeigt die Abbildung 5. Sie zeigt einen schmalen Spektralbereich von nur 5 nm Breite. Die früh aufgenommenen Spektren sind hier unten dargestellt und die später aufgenommenen Spektren nach oben versetzt. Die Spektren zeigen zunächst, wie gut sich die Spektren über weite Bereiche reproduzieren. Die vielen Linien sind also alle echte Fraunhoferlinien. Erst beim spätesten Spektrum ist das Signal der schwächsten Linien mit dem Detektorrauschen

vergleichbar. Man erkennt sehr schön, wie dicht die Fraunhoferlinien im Sonnenspektrum auftreten. Schon Fraunhofer hatte zwischen den Linien B (686,719 nm, O<sub>2</sub>) und H (396,847 nm, Ca<sup>+</sup>) 574 Linien gezählt [3]. Die Serie von Fraunhoferlinien setzt sich auch zwischen den hier sehr gut getrennten Natrium-Resonanzlinien fort. Beim Natrium-Flash selbst zeigt sich sehr schön, wie zunächst das Sonnenlicht dominiert. Im zweiten Spektrum deutet sich der Flash durch eine Modifikation der Linienform an. Im nächsten Spektrum erscheint erstmals eine schmale Emissionsstruktur im Zentrum der Linie bei aufgerundet 589,0 nm. Die Linie bei rund 589,6 nm ist erstmals deutlich in ihrer Form modifiziert. Um 21:13 Uhr MESZ (Sonnenhöhe -5.8°) sind schließlich beide Resonanzlinien dominant in Emission zu sehen. Die breitere Linie des Sonnenlichtes zeigt sich noch in den Flanken der 589,0 nm Linie.

#### 4. Zusammenfassung

Mit diesem kurzen Artikel wollten wir im Überblick auf ein Phänomen in unserer Atmosphäre hinweisen, das seit dem frühen 20. Jahrhundert bekannt ist und in den 1950er, 1960er Jahren intensiv studiert wurde [6]. Daher werden heute nur noch sehr spezielle Aspekte des Phänomens in wissenschaftlichen Artikeln diskutiert. Durch die Entwicklung sehr empfindlicher CCD Detektoren und lichtstarker Spektrometer mit guter Auflösung, auch im Amateurbereich, wie wir sie hier verwendet haben, ist die Beobachtung des relativ lichtschwachen Phänomens bei einem guten Standort mit dunklem Abendhimmel einfach durchzuführen. Der Natrium-Flash ist ein schönes Beispiel, welche Rolle die Atom- und Plasmaphysik bei spektroskopischen Beobachtungen spielt (Resonanzlinien, Fraunhoferlinien auf der Sonne, Rayleigh-Streuung). Damit ist seine Beobachtung wohl ein gutes und lehrreiches Projekt, zum Beispiel bei Praktikumsversuchen.

#### Danksagung

<sup>1</sup>Das DADOS Spektrometer wurde einem der Autoren (A.U.) freundlicher Weise von einem der Entwickler dieses Gerätes, Vadim Burwitz, für die Beobachtungen zur Verfügung gestellt, wofür wir uns hier herzlich bedanken.

[1] Kristian Schlegel, „Vom Regenbogen zum Polarlicht – Leuchterscheinungen in der Atmosphäre“, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford 1995

[2] A. Ulrich, „Laborspektroskopie zur Teilchen – Astrophysik“, in „Spektrum“, E. Pollmann Hrsg. Ausgabe 43 (04/2012) Seite 9.

[3] Joseph Fraunhofer, „Bestimmung des Brechungs- und Farbenzerstreuungs-Vermögens verschiedener Glasarten, in Bezug auf die Vervollkommnung achromatischer Fernrohre“, Denkschrift der k. Akad. Der Wiss. zu München Bd. V S. 105-226 (1817).

[4] A. R. Striganov and N. S. Sventitskii, Tables of Spectral Lines of Neutral and Ionized Atoms, IFI/ Plenum, New York – Washington 1968

[5] Davies, R. & Kasper, M., 2012. Adaptive Optics for Astronomy. Annual Review of Astronomy and Astrophysics, 50(1), pp.305–351. Available at: <http://cdsads.u-strasbg.fr/abs/2012ARA%26A..50..305D>.

[6] Hunten, D.M., 1967. Spectroscopic studies of the twilight airglow. Space Science Reviews, 6(4). Available at: <http://cdsads.u-strasbg.fr/abs/1967SSRv....6..493H>.