

Einführung in die Sternspektroskopie mit dem DADOS-Spaltspetrografen

von Bernd Koch

Die Wegbereiter der Spektroskopie

Die Zerlegung weißen Lichts in seine Spektralfarben mit Hilfe von Glasprismen hat eine lange Tradition. Der italienische Jesuit, Physiker und Astronom Angelo Secchi erfuhr um das Jahr 1859 von den bahnbrechenden Entdeckungen der Physiker Gustav Kirchhoff und Robert Bunsen, die die dunklen Linien im Sonnenspektrum als „Fingerabdrücke“ charakteristischer chemischer Elemente deuten konnten. Joseph von Fraunhofer, der Erfinder des Spektroskops, hatte diese fortan nach ihm benannten dunklen Linien im Spektrum der Sonne bereits im Jahr 1814 entdeckt.¹

Nur mit Hilfe der Spektroskopie ist es möglich, Aussagen über das Licht ferner Sterne zu treffen, zu denen eine Reise nicht möglich ist. Angelo Secchi benutzte einen Prismenspektrografen zur Untersuchung der Spektren der Sterne und legte 1867 ein Sternverzeichnis von über 500 Sternen vor, die er in verschiedene Spektralklassen unterteilte. Mit Angelo Secchi nahm die Stellarspektroskopie ihren Anfang.



Abb. 1: Das „Fraunhoferspektrum“ auf einer Briefmarke (Deutschland, 1987)¹

Ein Spektrum ist leicht erzeugt

Wie macht man das? Nun, man nehme eine CD zur Hand (Abb. 2) und betrachte eine Lichtquelle, die sich in der deren Rückseite spiegelt. Und schon schimmert die CD in bunten Farben: Das erste selbst erzeugte Farbspektrum. Im Grunde ist die CD ein Reflexionsgitter, wie es in modernen Spektrografen wie dem DADOS verbaut wird. Nimmt man ein Teleskop zu Hilfe, um Himmelsobjekte zu spektroskopieren, kann man ein Farbspektrum nach Lichtreflexion an einem Gitter (analog zur CD) oder nach Lichtdurchgang durch ein Glasprisma betrachten. Ein Prisma kann man mit etwas Übung in den Strahlengang eines Teleskops setzen und ein farbiges Spektrum untersuchen. Die Schärfe der sichtbaren Spektrallinien hängt von der scheinbaren Winkelgröße des betrachteten Objekts ab: Betrachtet man Sternspektren mit einem Prisma am

¹ http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:DBP_1987_1313_Joseph_von_Fraunhofer,_Sonnenspektrum.jpg

Okularauszug, so sind die erkennbaren Spektrallinien im Spektrum um scharf zu erkennen, weil die Sterne fast punktförmig erscheinen. Schaut man hingegen auf die ausgedehnte Mond- oder Planetenoberfläche, verschmiert sich das Spektrum zu einem strukturlosen Spektralverlauf von Blau bis rot, den typischen Regenbogenfarben: Man sieht nur ein so genanntes Kontinuum.



Abb. 2: Die CD ist ein Reflexionsgitter. Sie erzeugt ein kontinuierlich verlaufendes Farbspektrum, wenn man eine helle Lichtquelle damit im reflektierenden Licht betrachtet.

Der DADOS-Spaltspektrograf

Nach den ersten Erfahrungen mit einem simplen Prismen-Spektrografen wünscht man sich, ein scharfes Linienspektrum auch in einer beliebigen, ausgedehnten Lichtquelle sehen zu können. Genau dazu ist der der DADOS-Spaltspektrograf in der Lage (Abb. 3). Die Betonung liegt auf „Spalt“!



Abb. 3: Aufbau des DADOS mit zwei "Würfeln". Würfel 1 enthält das Spaltplättchen, welches mit einem Okular betrachtet werden kann und Würfel 2 beherbergt das Reflexionsgitter, an dem das Spektrum erzeugt wird.

Die Darstellung scharfer Spektrallinien erreicht man, in dem man vor dem eigentlichen Spektrografen eine winzig kleine Öffnung platziert, durch die das Licht mittels einer Linse auf das Gitter projiziert wird. Statt einer mikroskopisch kleinen kreisförmigen Öffnung verwendet man einen schmalen rechteckigen Spalt. Auf diesen positioniert man sein zu untersuchendes Objekt, welches ein punktförmiger Stern (Abb. 4), die ausgedehnte Oberfläche des Mondes oder eines Planeten, oder auch nur der Tageshimmel sein kann. Der DADOS ist aus zwei Würfeln aufgebaut, im ersten Würfel befindet sich solch ein Spaltplättchen.



Abb. 4: Ein heller Stern befindet sich vor dem mittleren Spalt mit nur 25 Millionstel Meter Breite. Sein Licht geht durch den Spalt hindurch und wird nach Reflexion am Gitter in seine Spektralfarben zerlegt. Man erkennt im Spektrum charakteristische dunkle Linien. Anhand des Linienmusters kann man erkennen, um welches Element es sich in der Sternatmosphäre handelt; in diesem Fall ist es das Absorptionsmuster des Wasserstoffs, dem häufigsten Element im Universum.



Die Regel: Je enger der Spalt, desto schärfer bildet sich das Spektrum mit seinen Spektrallinien ab. Beim DADOS hat man die Wahl zwischen Spalten von 25, 35 und 50 Millionstel Meter Breite, die übereinander angeordnet sind (Abb. 4).

Mit Hilfe eines drei Spalte ist man unabhängig von der Ausdehnung der zu untersuchenden Lichtquelle! Man sieht immer ein Spektrum; je nach Art der Lichtquelle manchmal mit, manchmal ohne Spektrallinien. Man spricht wegen dieser Anordnung von einem Spaltspektrografen.

Aber einen wichtigen Gesichtspunkt haben wir bisher nicht erörtert: Wie schafft man es eigentlich, einen im Teleskop punktförmig erscheinenden Stern auf einen ebenso schmalen Spektrografenspalt zu positionieren, den man aber nicht sieht? Ein im Teleskop scheinbar nur weniger Millionstel Meter großes Sternscheibchen durch eine irgendwo im Gesichtsfeld liegende Öffnung von 25 bis 50 Millionstel Meter zu schicken, ist ohne Kontrolle eine in der Praxis schier unlösbare Aufgabe: Beim Positionieren weiß man nicht, ob der kleine Stern nun auf dem Spalt liegt oder nicht. Das ist ein klassischer Blindflug, der eine erfolgreiche Sternspektroskopie verhindert.

Der Spaltwürfel des DADOS

Bis vor rund 20 Jahren gab es gegen diese Schwierigkeiten keine passende Lösung im Bereich der Amateurastronomie, wenn man sich einen simplen Spektrografen kaufte. Mit dem DADOS-Spalt spektrografen, der von einer engagierten Gruppe von Astrophysikern des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik in Garching bei München entwickelt wurde, wurde eine sehr gute Lösung des Problems präsentiert: Ein Spaltwürfel im DADOS mit Spaltplättchen und Spiegeleinheit zur Kontrolle des Objektes, welches man gerade spektroskopieren möchte (Abb. 5). Gerade weil es diesen Spaltwürfel in früheren Zeiten nicht gab in der Amateurspektroskopie, führte die Sternspektroskopie lange ein Schattendasein. Heute würde man sagen, dass der „Spaßfaktor“ fehlte. Doch die dunklen Zeiten der Amateursternspektroskopie sind glücklicherweise vorbei.

Mit dem DADOS hat man zu jeder Zeit die volle Kontrolle darüber, welche Lichtquelle man spektroskopiert! Einen Stern genau auf dem Spektrografenspalt zu setzen und ihn dort eine gewählte Zeit zu halten, dazu dient der Spaltwürfel des DADOS. Und genau das ist es, was den Autor dieser Zeilen 2010 beim erstmaligen Ausprobieren des DADOS-Spalt spektrografen elektrisierte: Die sehr einfache Untersuchung von Objekten, die man mit wenig Aufwand auf den Spektrografenspalt setzen und dort halten kann, während man ein Spektrum betrachtet oder aufnimmt. Das Schlüsselement zur präzisen Spektroskopie aller Art von Lichtquellen ist der Spaltwürfel

Einblick

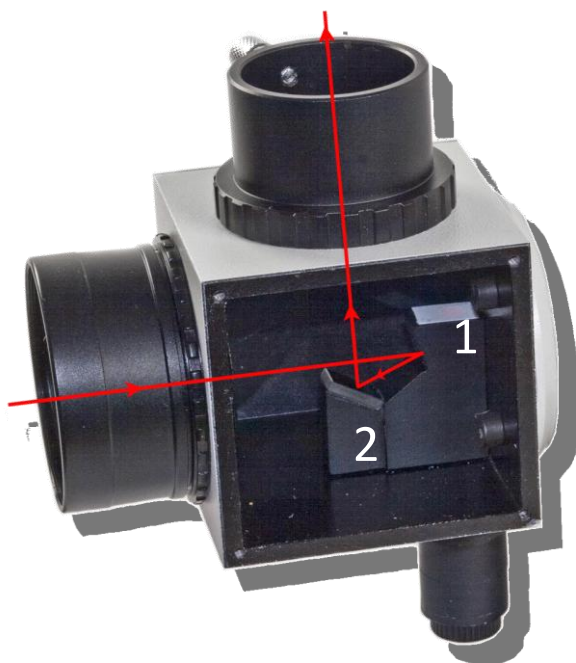


Abb. 5: Der Spaltwürfel (Würfel 1) im DADOS-Spalt spektrografen. Um Umfeld neben einem der drei Spalte (1) wird Licht von dem verspiegelten Spaltplättchen reflektiert. Mit Hilfe eines Umlenkspiegels (2) kann man das Umfeld der Spalte betrachten und einen Stern genau positionieren.

Mit Hilfe eines kleinen Umlenkspiegels im Würfel betrachtet man mit einem Okular das Spaltplättchen von außerhalb. Das Spaltplättchen selbst ist eine spiegelnde Metallfolie, die das Licht der Umgebungssterne reflektiert und nur Licht durchlässt, welches durch einen der drei Spalte tritt. Damit hat man die Möglichkeit, seinen Zielstern punktgenau auf den Spalt zu setzen, um ein Spektrum zu erzeugen. Nur wenn der Stern im dunklen Spalt verschwindet, gibt es ein Spektrum.

Das Positionieren eines Sterns auf einen Spalt kann mal sehr leicht bewerkstelligen. Mit Hilfe der Steuerung der Montierung führt man manuell nach. Bei sehr schwachen Sternen oder ungünstigen Lagen des Spektrografen am Teleskop ist dies natürlich recht unbequem. Zur Vereinfachung der Nachführung

(„Guiding“) bzw. Fernkontrolle verwendet man beispielsweise eine hochempfindliche Videokamera, die man an Stelle des Okulars in den Spaltwürfel einsetzt (Abb. 6).



Abb. 6: Nachführung ("Guiding") am so genannten "Guiding-Port" des Spaltwürfels 1: Visuell mit Nachführkular oder bequem mit Videokamera

Während man ein Spektrum erzeugt, schaut man sich in einem separaten Fenster auf dem Bildschirm eines Tablets, Notebooks oder PCs das Video des Sterns an und sorgt mit der Handsteuerung dafür, dass der zu spektroskopierende Stern im Spalt buchstäblich verschwindet (Abb. 7). Das funktioniert bei allen Objekten, die am verwendeten Teleskop hell genug sind für die Videokamera.

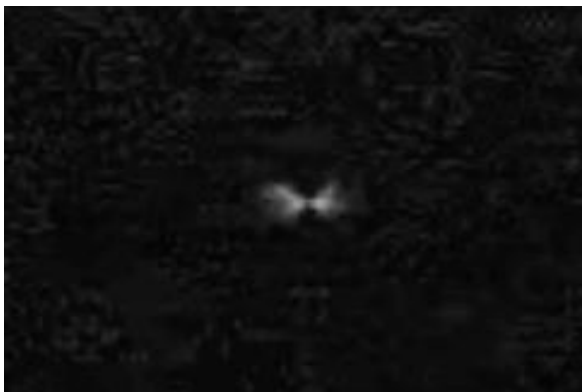


Abb. 7: Ein Stern verschwindet im Spektrografen-spalt, der sich als dunkle Linie in der Mitte abzeichnet



Abb. 8: Das Aristarchus-Plateau auf der Mondoberfläche

Besonders bequem funktioniert die Spektroskopie ausgedehnter Objekte. Man fährt mit der Handsteuerung auf den Punkt der zu untersuchenden Mond- oder Planetenoberfläche. Und das geht mit einer feinfühligsten Handsteuerung „punktgenau“. Nun kann man beispielsweise den Großen Roten Fleck in der Jupiteratmosphäre untersuchen, die Rotationsgeschwindigkeit der Planeten Jupiter und Saturn messen oder gar das Aristarchus-Plateau auf dem Mond untersuchen, in dessen Umfeld Beobachter aufsteigende Gase gesehen haben wollen (Abb. 8).

Beobachtung und Aufnahme der Spektren

Die Betrachtung oder Aufnahme des Spektrums eines Objekts ist eine recht einfache Sache. Spektren aller Lichtquellen wie hier des Tageslichts (Abb. 9), können in gleicher Schärfe visuell beobachtet oder mit einer Kamera aufgenommen werden. Mit einer einfachen DSLR-Kamera, die ohne Objektiv an den DADOS angesetzt wird, lernt man auf diese Weise die chemischen Eigenschaften der Lichtquellen kennen und unterscheiden. Wer es professioneller angehen möchte, verwendet eine gekühlte CCD-Kamera, die es erlaubt, sehr viel rauschärmere Spektren aufzunehmen. Damit sind präzise Messungen möglich.

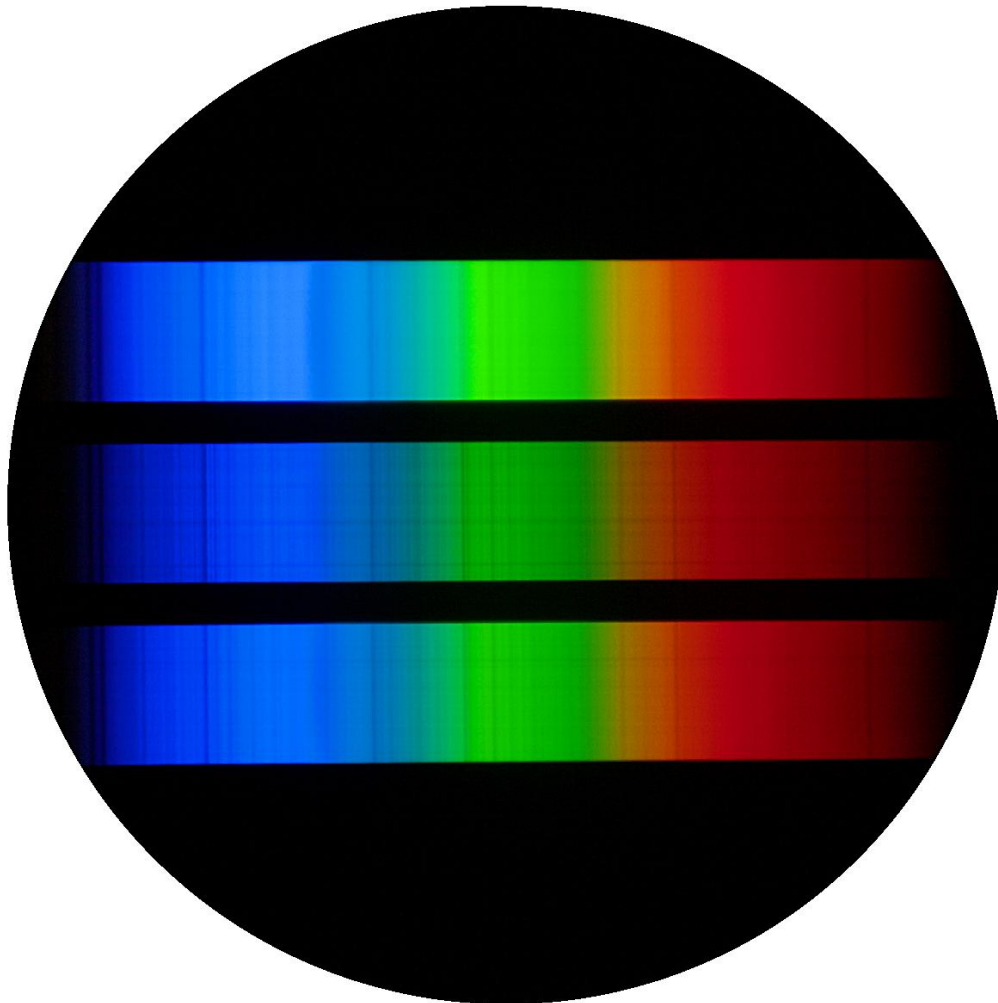


Abb. 9: Das Tageslichtspektrum ist identisch mit dem Spektrum der Sonne. Deutlich erkennt man die nach Joseph von Fraunhofer benannten dunklen „Fraunhoferschen Linien“, die Auskunft über die Zusammensetzung der Sonnenatmosphäre geben.

Was fängt man nun mit einem Spektrum an?

Die mit dem DADOS sehr einfache Aufnahme der Spektren motiviert dazu, viele unterschiedliche Objekte zu untersuchen. Nach kurzer Zeit hat sich eine Sammlung unterschiedlicher Spektren angesammelt und es stellt sich die Frage, wie man anhand dieser Spektren beispielsweise herausfindet, welche chemischen Elemente für die dafür verantwortlich sind und was man sonst noch an physikalischen Informationen über die Objekte gewinnen kann.

Von nun an wird es noch ein wenig anspruchsvoller, weil die gewonnenen Spektralaufnahmen mit Computerprogrammen ausgewertet werden müssen. Aus einem Spektrum-Foto (Abb. 10) wird mit Hilfe einer Software wie VisualSpec² ein so genanntes „Spektralprofil“ oder kurz „Profil“ erzeugt.

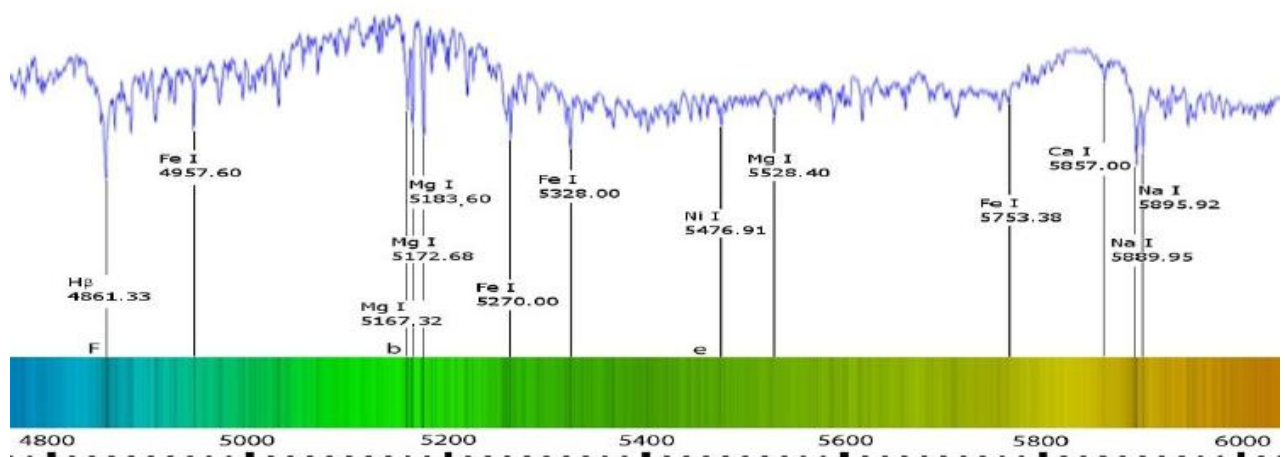


Abb. 10: Foto (unten) und Spektralprofil (oben) eines Ausschnitts aus dem Sonnenspektrum. Auf der waagerechten Achse ist die Wellenlänge in der in der Astronomie üblichen Längeneinheit Angström (Å) angegeben. Die Kürzel Mg, Fe, Na und H stehen für den Nachweis der Elemente Magnesium, Eisen, Natrium bzw. Wasserstoff.

Der Umgang mit dieser Software ist zugegebenermaßen nicht ganz einfach, die Beschäftigung damit aber sehr lohnenswert. Im Tutorial zum DADOS-Spektrographen (Abb. 11) wird die vollständige Prozedur der Kalibrierung von Sternspektren anhand eines Datensatzes des Sterns Beteigeuze (engl. Betelgeuse, α Orionis) Schritt für Schritt erläutert.

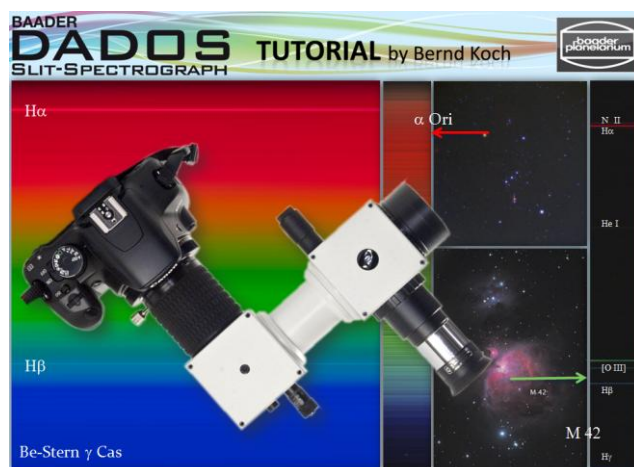


Abb. 11: Tutorial zum Umgang mit dem DADOS-Spalt-spektrographen und der Auswertung der erhaltenen Spektren

² <http://valerie.desnoux.free.fr/>

Kurse zur Sternspektroskopie

Zur Erleichterung des Einstiegs in die Sternspektroskopie und Auswertung von Sternspektren bietet das Schülerlabor Astronomie des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums in Wuppertal³ spezielle Workshops an, die nach Absprache zwischen einem und fünf Tagen dauern und sowohl theoretische als auch praktische Aspekte der Sternspektroskopie beinhalten.

Zum Inhalt des 5-Tages-Workshops studieren Sie bitte die beiden Webseiten des früheren Teilnehmers Dr. Thomas Schröfl, der extra aus Wien nach Wuppertal angereist ist (Abb. 12)!

Wenn Sie Interesse an einem dieser empfehlenswerten Workshops haben, nehmen Sie bitte mit mir, dem mit dem Autor dieser Zeilen Kontakt auf oder mit Herrn Michael Winkhaus, dem Leiter der Sternwarte.

DADOS SLIT-SPECTROGRAPH TUTORIAL

Workshops zur Sternspektroskopie am Carl-Fuhlrott-Gymnasium, Wuppertal

Das **Schülerlabor Astronomie** auf dem Dach des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums in Wuppertal ist eine in ihrer Art einzigartige Schul- und Ausbildungssternwarte, die mit sechs identischen Teleskopeinheiten (Beobachtungsinseln) ausgestattet ist, an denen parallel gearbeitet wird. Dort finden Kurse und Beobachtungsabende zur Astronomie und Astrophysik auch für größere Schüler- und Studentengruppen benachbarter Schulen bzw. der Bergischen Universität Wuppertal statt.

Ausstattung jeder Insel: Astro-Physics 900GTO-Montierung, Celestron 11" EdgeHD-Teleskop, Pentax 75 SDHF-Refraktor, Celestron ED 80/600mm-Refraktor, Canon EOS 450D DSLR-Kamera, SBIG STF-8300M CCD-Kamera, reichhaltiges Zubehör.

Workshops zur Sternspektroskopie mit sechs DADOS-Spektrographen und Gittern mit 200/900/1200 Linien/mm nebst Spektrallampen zur Kalibration.
Tutoren: Michael Winkhaus, Bernd Koch und Ernst Pollmann.

Zur Referenz ein Bericht von Dr. Thomas Schröfl, Wien/Austria, der an einem Workshop vom 21. bis 25. Oktober 2013 teilnahm.
<http://www.waa.at/bericht/2013/10/20131021sf100.html>
<http://www.waa.at/bericht/2013/10/20131022sf117.html>

Wenn Sie an einem Workshop interessiert sind, nehmen Sie bitte mit dem Leiter der Sternwarte, Herrn Michael Winkhaus, Kontakt auf:
Michael.Winkhaus@t-online.de

Anfragen zum DADOS-Spektrographen richten Sie bitte direkt an: Bernd Koch, b.koch@baader-planetarium.de



V3.5D © Bernd Koch | b.koch@baader-planetarium.de

 Michael Winkhaus
 Ernst Pollmann
 Bernd Koch

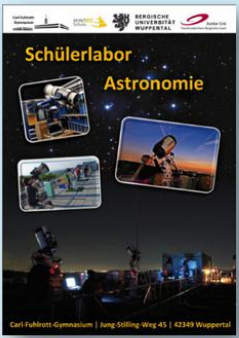


Abb. 12: Astronomiekurse am CFG Wuppertal

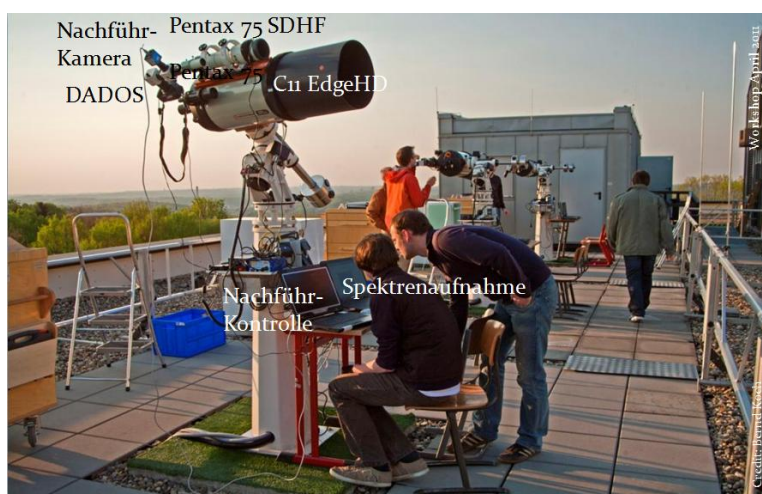
Bernd Koch

Dipl.-Phys. Bernd Koch

Lehrbeauftragter der Universität Wuppertal

Baader Planetarium GMBH

Fotonachweis: © Bernd Koch



³ http://www.astrofoto.de/Broschuere_Schuelerlabor_Astronomie.pdf