

Heidelberg, Oktober 2006

**Einführung zum Versuch F36  
„Wellenfrontanalyse mit einem Shack-Hartmann-Sensor“  
des Fortgeschrittenen-Praktikums II der Universität Heidelberg für Physiker**

Dr. Stefan Hippler, Dr. Wolfgang Brandner, Prof. Dr. Thomas Henning

## Einleitung

Astronomische Beobachtungen vom Erdboden aus sind in ihrer Qualität durch die Turbulenz der Erdatmosphäre begrenzt. Unabhängig von der Teleskopgröße entspricht das reale Auflösungsvermögen dem eines 10-20 cm Teleskops. Der Bau immer größerer Teleskope führte in der Vergangenheit hauptsächlich dazu mehr Licht zu sammeln und damit tiefer in das Universum zu blicken. Das räumliche Auflösungsvermögen hingegen konnte erst durch die so genannte Adaptive Optik (AO) deutlich verbessert werden. Zu Beginn des 21ten Jahrhunderts lässt sich feststellen, dass optische und infrarot Astronomie vom Boden aus ohne AO kaum weiter voran schreiten können. Ohne AO wird es keine neue Generation von sehr großen Teleskopen (ELT, OWL) geben.

Die Idee der AO wurde in den 50er Jahren von Horace Babcock entwickelt. Das Thema „The possibility of compensating atmospheric Seeing“ war allerdings in der damaligen Zeit technisch nicht realisierbar. In den 70er und 80er Jahren arbeitete das amerikanische Militär an AO Systemen zur Beobachtung von Satelliten und zur Fokussierung hochenergetischer Laserstrahlen. Anfang der 90er Jahre wurde das erste zivile Teleskop der Welt, das 3.6-m Teleskop der ESO auf La Silla in Chile mit einer adaptiven Optik ausgestattet. Zurzeit hat jedes Großteleskop der 8-10-m Klasse eine AO.

Ein zentraler Bestandteil jedes AO Systems ist der so genannte Wellenfront-Sensor mit dessen Hilfe die von der Erdatmosphäre verursachten Störungen auf die vom Weltall ankommenden flachen optischen Wellen gemessen werden können. In der Astronomie wird der Shack-Hartmann Sensor neben dem Curvature-Sensor in AO Systemen am häufigsten eingesetzt.

## Aufgabenstellung im Überblick

Mit Hilfe eines Shack-Hartmann Wellenfront-Sensors sollen optische Aberrationen bestimmt werden. Auf einer optischen Bank soll aus optischen Einzelkomponenten – diese sind eine monochromatische Lichtquelle mit optischer Faser, ein Kollimator, eine Mikrolinsen-Maske, ein Relay-Objektiv, sowie eine CCD-Kamera – ein Wellenfront-Sensor nach dem Shack-Hartmann Prinzip aufgebaut werden. Die Verstärkung (Gain=Anzahl Elektronen pro digitaler Einheit im CCD-Bild) des CCD-Detektors sowie dessen Rauschcharakteristika sollen bestimmt werden. Letztlich sollen einige elementare Phasenfehler der Wellenfront (Defokus, Koma, Astigmatismus, Verkippung) erzeugt, gemessen und berechnet werden.

## Themenkreis

- Bestimmung der Charakteristika eines CCD-Detektors.
- optische Aberrationen, Abbildungsfehler, Punktverteilungsfunktion, beugungsbegrenzte Abbildungen.
- Methoden zur Bestimmung von Wellenfronten (=Wellenfrontphasen).
- Grundlagen des Hartmann Tests, Erweiterung durch Shack.
- Phasenrekonstruktion mit einem Shack-Hartmann-Sensor.
- Modenzerlegung optischer Aberrationen.
- Anwendung in der Astronomie:  
Charakteristische Eigenschaften der optisch turbulenten Atmosphäre.  
Prinzip einer adaptiven Optik in der Astronomie.

## Literaturhinweise

1. Stefan Hippler und Andrei Tokovinin: *Adaptive Optik Online Tutorial*, [http://www.mpia.de/homes/hippler/AOonline/ao\\_online.html](http://www.mpia.de/homes/hippler/AOonline/ao_online.html)
2. Sami Dib, Jean Surdej, Martin Hennemann, Stefan Hippler, Jutta Stegmaier: The CCD detector – an online tutorial: [http://www.mpia.de/AO/INSTRUMENTS/FPRAKT/CCD\\_online/CCD\\_onlineSep2006.ppt.htm](http://www.mpia.de/AO/INSTRUMENTS/FPRAKT/CCD_online/CCD_onlineSep2006.ppt.htm)
3. John. W. Hardy: *Adaptive Optics for Astronomical Telescopes*, Oxford University Press, 1998
4. F. Roddier: *Adaptive Optics in Astronomy*, Cambridge University Press, 1999
5. Ben C. Platt, Roland Shack: *History and Principal of Shack-Hartmann Wavefront Sensing*, 2nd International Congress of Wavefront Sensing and Aberration-free Refractive Correction, Monterey, Journal of Refractive Surgery 17, 2001 (siehe Anhang)
6. M.E. Kasper: *Optimierung einer adaptiven Optik und ihre Anwendung in der orts aufgelösten Spektroskopie von T Tauri*, Dissertation Universität Heidelberg, 2000 (siehe auch: <http://www.MPIA.de/ALFA/TEAM/MEK/Download/diss.pdf>)
7. Glindemann, S. Hippler, T. Berkefeld, W. Hackenberg: *Adaptive Optics on Large Telescopes*, Experimental Astronomy 10, 2000
8. J. W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics*, McGraw-Hill, 1996
9. W.J. Smith, *Modern Optical Engineering*, McGraw-Hill, 2000
10. Simon Tulloch: *Introduction to CCDs* (PowerPoint Präsentation), [http://www.ing.iac.es/~smt/CCD\\_Primer/Activity\\_1.ppt](http://www.ing.iac.es/~smt/CCD_Primer/Activity_1.ppt)
11. Simon Tulloch: *Use of CCD Camera* (PowerPoint Präsentation), [http://www.ing.iac.es/~smt/CCD\\_Primer/Activity\\_2.ppt](http://www.ing.iac.es/~smt/CCD_Primer/Activity_2.ppt)
12. Simon Tulloch: *Advanced CCD Techniques* (PowerPoint Präsentation), [http://www.ing.iac.es/~smt/CCD\\_Primer/Activity\\_3.ppt](http://www.ing.iac.es/~smt/CCD_Primer/Activity_3.ppt)

## Betreuung

Verantwortlich: Dr. Stefan Hippler

In der Regel wird der Versuch von Doktoranden/Doktorandinnen des MPIA betreut.

## Weitere Dokumente und Skripte

1. Messung der Charakteristika einer CCD-Kamera mit Anhängen.
2. Aufbau eines Shack-Hartmann-Wellenfrontsensors. Messung einfacher optischer Aberrationen. Wellenfrontrekonstruktion mit Hilfe von Zernike-Funktionen. Mit weiteren Anhängen.

## Aktuelle Informationen auf der F36 Homepage:

<http://www.mpia.de/homes/hippler/fprakt>