

Abschattungsfreies Multi-Schiefspiegel-Teleskop als studentisches Entwicklungsprojekt

Gerald Fütterer, Andreas Sperl, Alexander Engelbrecht, Simon Killinger, Michael Werni, Waldemar Kraus

Fakultät Angewandte Naturwissenschaften und Wirtschaftsingenieurwesen (NuW),

Technische Hochschule Deggendorf

mailto:gerald.fuetterer@th-deg.de

Es gibt einen großen Parameterraum für Auslegung von Teleskopen. Die Optik, die Mechanik und die Ansteuerung sind hinreichend komplex, um Studierenden daran Inhalte des Ingenieurberufes zu vermitteln. Das Teleskopbauprojekt der THD (Sky Forest) basiert auf einem Multi-Schiefspiegel-Ansatz. Erste Designs der Gabelmontierung und der Optik sind abgeschlossen. Die Justagestrategie steht. Im Folgenden wird das Projekt beschrieben und auf Resultate eingegangen.

1 Warum ein einspruchsvolles Teleskop als Projekt?

An der Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften und Wirtschaftsingenieurwesen (NuW) der Technischen Hochschule in Deggendorf wird ein breites Wissensspektrum vermittelt. Um dieses praxisnah zu gestalten, wurde ein Teleskopbau-Projekt ins Leben gerufen. Der Technologie-Campus Teisnach ist die Basis für die Fertigung und Messung hoch präziser Teleskop-Optiken. Ziele des optischen Designs sind Abschattungsfreiheit, Teilerfremdheit zum kommerziellen Markt, Auflösung im Bereich zw. Amateur- u. Profi-Teleskopen. Den Studierenden wird die Möglichkeit gegeben, Optik, Mechanik, Sensorik und Regelungstechnik im komplexen Zusammenspiel zu begreifen und zu gestalten.

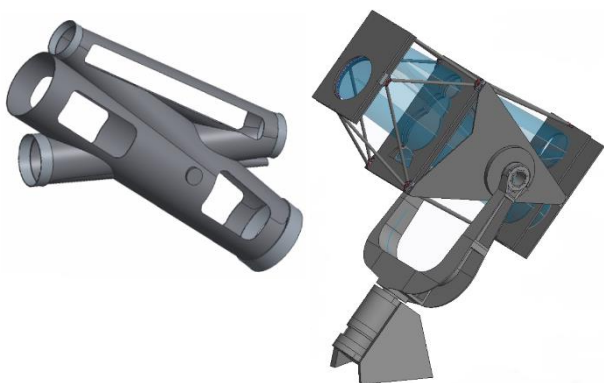


Fig. 1 Vgl. Tubus-Design. Links: CFK / Monocoque, im Betrieb geschlossen, Rechts: CFK / Rohre und Platten auf parallaktischer Gabel-Montierung (CFK: Kohlenstoff-faserverstärkter Kunststoff). Das Licht kommt von links.

2 System-Auslegung des abschattungsfreien f/8 Teleskops

Das optische Design beruht auf einer Untermenge des Parameterraums, der 1989 von M. Brunn veröffentlicht wurde (DE3943258C2) [1], [2]. Das Konzept wurde später von D. Stevick als f/12 System (mit Bezug auf die Arbeit von M. Paul, 1935) gebaut

[3]. Das THD-Projekt startete mit einem Vergleich von f/7 Systemen, die in Zemax implementiert wurden (u.a. Newton, Ritchey-Chrétien). Die Abbildungsleistung wurde über ein Feld von ca. $0,7^\circ$ deg verglichen. Die FEM-Simulation der M1-Lage-Änderung ergab bei optimaler Lagerung eine Form-Änderung unter 10 nm. Bei einer Wellenlänge von $\lambda = 550$ nm entspricht dies in Reflexion einem Wellenfrontfehler von ca. $\Delta\varphi_{(PV)} \cong \lambda/30$. Unterschiedliche Tuben wurden verglichen, einschließlich CFK Monocoque (anspruchsvoll, Staub- und Blendschutz, Alleinstellungsmerkmal, favorisiert). Aufgrund der guten Drapierbarkeit, des geringen Gewichtes und des hinreichend geringen Temperaturexpansionskoeffizienten wird kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff in 3K Körperbindung favorisiert. Die Nachführung basiert auf einer parallaktischen Gabelmontierung, bei fester Polhöhe. Der Aufstellort ist die THD. Torque-Direkt-Antriebe und Winkencoder ermöglichen eine schnelle und akkurate Regelung (z.B. das Einfangen und das Nachführen der ISS mit einem Fehler von ≤ 1 Kamera-Pixel). Zwei mögliche Tuben und eine Gabelmontierung sind in Figur 1 dargestellt. Figur 2 zeigt den Strahlengang des f/8 4xSchiefspiegel-Teleskops. Das Licht tritt von links in das Teleskop ein (s. weißer Pfeil).

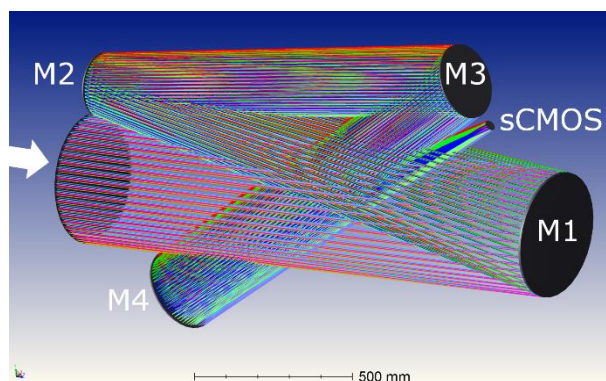


Fig. 2 Strahlengang des f/8 Teleskops ($\varnothing_{M1} = 400$ mm, $d_{M1} = 50$ mm, Material: Zerodur, M_1 : Parabolspiegel, M_2 : konvexe Sphäre, M_3 : plan, M_4 : konkave Sphäre).

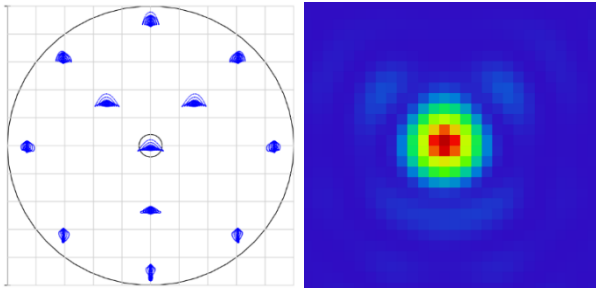


Fig. 3 Links: FokI_{300x} auf 36 mm x 36 mm, $r_{01Airy} = 5,4 \mu\text{m}$. Rechts: Intensitätsverteilung der PSF $\varphi_{in}(-0,31, 0)^\circ \text{ deg}$ unter Berücksichtigung der Beugung, $\lambda = 550 \text{ nm}$.

Die Bildebene ist leicht zur optischen Achse geneigt. Angestrebt ist es, für die kleinste aufgelöste räumliche Periode 3 Pixel zu haben [4].

3 Bisheriges Fazit, Justage, Ausblick und weitere Finanzierung

Die Studierenden haben große Freude an der Teamarbeit. Das nun auf f/8 skalierte und damit etwas entspannte Optik-Design ergibt ein Strehl-Verhältnis $\geq 0,8$ über das gesamte Bildfeld. Es muss jedoch noch eine Toleranzanalyse erfolgen (Wellenfrontdeformationen, Einbaufehler in jeweils 6 Freiheitsgraden), um die praktische Realisierbarkeit abschätzen zu können.

Für die Justage ist die Verwendung eines Hartmann-Shack Sensors und einer Shearing-Platte ($\varnothing \geq 200 \text{ mm}$) vorgesehen [5], [6], [7]. Die Justage erfolgt bei geschlossenem CFK Monocoque, d.h. sukzessive von M1 beginnend. Dabei werden die folgenden Spiegel nacheinander eingesetzt. Die Eingangswellenfront wird von einem Interferometer (Fizeau, Zygo) oder einem Kollimator (off-axis parabolic mirror, OAPM, bevorzugt) bereitgestellt. Der Hartmann-Shack-Sensor wird zur Justage von M1 und M4 eingesetzt, da er dort wegen seiner geringen Apertur sinnvoll einsetzbar ist. Die Justage erfolgt anhand der Wellenfrontmessung und mittels der Minimierung der Abweichung zum jeweiligen Optimal-Zustand, der hinter den einzelnen Spiegeln M1 bis M4 vorliegen sollte. Die Shearing-Platte kann hinter M2 und M3 verwendet werden, um die Ableitung der Wellenfront in Shear-Richtung zu bestimmen. Die Messung erfolgt zumindest entlang zweier orthogonaler Richtungen. Es ist vorgesehen, die Messdaten der einzelnen Spiegel in Zemax zu verwenden. Somit lassen sich die realen Aberrationen der einzelnen Spiegel bei der Justage berücksichtigen. Die Shearing-Platte kann auch zur Messung der Eingangswellenfront verwendet werden. Die Messapertur muss dabei jedoch mittels Stitching auf $\varnothing = 400 \text{ mm}$ erweitert werden.

Die Mechanik und der Antrieb der Gabelmontierung werden ca. 40 k€ kosten. Es ist vorgesehen, die

Hardwarekosten hauptsächlich durch Sponsoren zu finanzieren. Interessenten sind herzlich eingeladen, an dem nicht kommerziellen und gemeinnützigen THD-Projekt mitzuwirken. Eine grobe Schätzung der Gesamtkosten – ohne Personal – liegt bei ca. 100 k€.

4 Nachweis erbrachter inhaltlicher Beiträge

GF: Projektleitung, Designstudie, Designauswahl u. Parameter-Bestimmung, Vorgabe f/7 System, Definition Abbildungsleistung. Entwicklung einer Justagestrategie, Prüfung der Messtechnik und Definition der dazu benötigten optischen Bauteile/Sensoren, sowie der Implementierung von Messdaten, Betreuung SHK, BA- u. MA ($\notin V$), kein geldwerter Vorteil; AS: Implementierung u. Vgl. Optik-Design (MA), AE: Design Tubus u. Halterungen M1-4 (SHK), SK: Design Gabel-Montierung (MA), MW: Design Halterung 1.0 M1, Simulation Einfluss Lageänderung M1 (BA); WK: Tubus-Design, Exoskelett, Monocoque, CFK Platten und Rohre (BA).

5 Danksagung

Unser Dank gilt Prof. Dr. P. Sperber als Haupt-Initiator, Prof. Dr. M. Moritz als Dekan der Fakultät Angewandte Naturwissenschaften und Wirtschaftsingenieurwesen, als Optik-Design Diskussionspartner und für die Bewilligung von SHK-€, E. Döberl und P. Keller von ASA für den guten Industriekontakt der Studierenden, S. Sitzberger für die Mechanik-Betreuung Studierender und explizit allen Studierenden, die bisher im allgemeinen Wahlpflichtfach (VL: Teleskopbau) oder als SHK den Ist-Stand mit gestaltet haben. Ihnen und euch vielen Dank!

Literaturverzeichnis

- [1] M. Brunn, DE3943258C2, „Silhouettierungsfreies Spiegelsystem für astronomische Teleskope vom Typ Schiefspiegler“ (Anmeldedatum 29. 12. 1989)
- [2] M. Brunn, US5142417, „Unobscured All-Reflecting Telescopes Of The Schiefspiegler Type“ (filed: Dec. 03. 1990).
- [3] D. Stevick: „Stevick-Paul Telescopes“, <http://www.amsky.com/atm/telescopes/spscopes/spt.html> (abgerufen am 06. 10. 2016).
- [4] N. Morrison, „Introduction to Fourier analysis“, John Wiley & Sons Inc., New York (1994)
- [5] J. Hartmann, „Bemerkungen über den Bau und die Justierung von Spektrographen“, Zeitschrift für Instrumentenkunde 20, September 1900, Seiten 17ff und 47ff
- [6] Naumann H., Schröder G., „Baulemente der Optik“, Carl Hanser Verlag, 6th Edition, (1992).
- [7] M. Born, E. Wolf, „Principles of Optics“, Pergamon Press (1991).