

# Röntgenteleskop-Funktionstests durch Beobachtung astronomischer Objekte am sichtbaren Nachthimmel

Thorsten Döhring<sup>\*1</sup>, Sebastian Zeising<sup>1</sup>, Veronika Stieglitz<sup>2,3</sup>, Vadim Burwitz<sup>2</sup>, Surangkana Rukdee<sup>2</sup>, Peter Friedrich<sup>2</sup>, Martin Jelinek<sup>4</sup>, Rene Hudec<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> Technische Hochschule Aschaffenburg, Würzburger Str. 45, D-63743 Aschaffenburg

<sup>2</sup> Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, Giessenbachstraße 1, D-85748 Garching

<sup>3</sup> Fakultät Elektrotechnik, Tschechische Technische Universität in Prag, Technicka 2, CZ-16627 Prag 6

<sup>4</sup> Astronomical Institute, Czech Academy of Sciences, Fričova 298, CZ-25165 Ondřejov

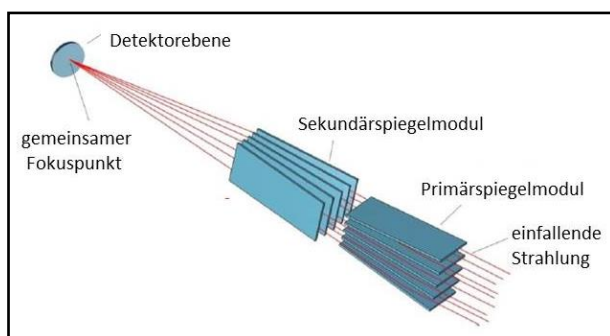
<mailto:thorsten.doehring@th-ab.de>

Lobster-Eye-Röntgenteleskope nutzen reflektierende Planspiegel unter streifendem Einfall und zeichnen sich durch ein großes Beobachtungsfeld aus. Die Spiegel reflektieren auch sichtbare Strahlung hervorragend. Nach Röntgenmessungen im Labor wurden nun weitere Tests durchgeführt, um die Abbildungseigenschaften mit realen Objekten des sichtbaren Himmels zu untersuchen.

## 1 Einführung

Im Rahmen einer bayerisch-tschechischen Kooperation wurde ein Teleskop gebaut, das mit Iridiumbeschichteten Spiegeln ausgestattet ist. Dessen Charakterisierung im Röntgenbereich wurde bereits im Jahr 2021 an der PANTER-Testanlage des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik (MPE) vorgenommen [1] [2]. Die Messungen fanden dabei in einer 12 Meter langen Vakuumkammer mit einem Durchmesser von 3,5 Metern statt. Die Röntgenquelle befindet sich in 120 Metern Entfernung. Durch eine evakuierte Röhre gelangt die Röntgenstrahlung in die Prüfkammer. Dieser Versuchsaufbau simuliert die einfallende parallele Strahlung kosmischer Röntgenquellen. Die verwendeten Röntgenspiegel reflektieren und bündeln allerdings auch sichtbares Licht. Nun wurde eine weitere Testkampagne durchgeführt, um die Abbildungseigenschaften mit realen Objekten des sichtbaren Himmels und für Sternkonstellationen zu untersuchen. Die Messungen fanden beim Teleskop des MPE in Garching und beim BART-Teleskop am Observatorium im tschechischen Ondřejov statt.

## 2 Funktionsweise des Röntgenteleskops



**Abb. 1** Funktionsweise eines (modifizierten) Lobster-Eye-Röntgenteleskops. (Bild: TH Aschaffenburg)

Lobster-Eye-Röntgenteleskope nach dem bionischen Prinzip der Hummeraugen nutzen reflektierende Planspiegel unter streifendem Einfall und zeichnen sich durch ein großes Beobachtungsfeld aus (siehe Abbildung 1). Das Licht durchläuft dabei unter streifendem Einfall nacheinander zwei um 90° gegeneinander verdrehte Stapel von Planspiegeln, durch welche die Fokussierung in jeder Dimension separat erfolgt.

Das hier vorgestellte Teleskop wurde bereits im letzten Jahr im Röntgenbereich charakterisiert [1] [2]. Die Lobster-Eye-Optik hat im Röntgenlicht eine Winkelauflösung von etwa 4 Bogenminuten und eine Brennweite von etwa 2 Metern. Die verwendeten Röntgenspiegel auf Basis eines Chrom-Iridium-Chrom-Dreifachschichtsystems [2] reflektieren auch sichtbare Strahlung hervorragend, bei Labortests und bei der Spiegeljustage wurde deren Funktionsfähigkeit im optischen Bereich bereits überprüft.

## 3 Aufbau für Messungen am sichtbaren Himmel

Nun wurde eine weitere Testkampagne durchgeführt, um die Abbildungseigenschaften mit realen Objekten des sichtbaren Himmels und für Sternkonstellationen zu untersuchen. Hierfür wurden die Röntgenoptik und eine Digitalkamera auf einer Befestigungsschiene angebracht und dieser Aufbau am Teleskop des MPE in Garching montiert (Abbildung 2). Das optische Teleskop wird dabei allein zur Nachführung am Himmel benötigt, d.h. zur Korrektur der Erddrehung ( $1^\circ$  pro 4 Minuten). Zur Orientierung am Himmel dient ein optischer Sternsucher, denn durch die Reflexionen an den Spiegeln ist die optische Achse gegenüber der mechanischen Achse in horizontalen und in vertikaler Richtung um je  $2 \times 2,3^\circ = 4,6^\circ$  verkippt. Solche Funktionstests durch die visuelle Beobachtung astronomischer Objekte können die Entwicklung von Röntgen-

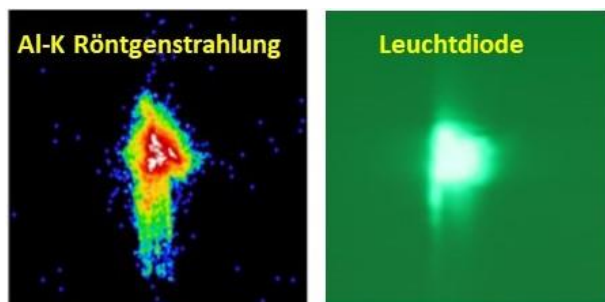
teleskopen vereinfachen, beschleunigen und preiswerter machen.



**Abb. 2** Die Komponenten des Röntgenteleskops, vorbereitet für die Messung am sichtbaren Nachthimmel. (Foto: MPE).

#### 4 Vergleich der Fokusbilder

In Abbildung 3 werden die Fokussierungseigenschaften der Lobster-Eye-Optik im Röntgenbereich und bei sichtbarem Licht verglichen. Die Fokusgröße liegt in beiden Fällen bei ungefähr 4 Bogenminuten und hat vergleichbare Abbildungsfehler.



**Abb. 3** Fokusbilder nach Doppelreflexion bei einem Einfallswinkel von ca.  $2.3^\circ$ , Links: Fokus für Röntgenstrahlung. Rechts: Fokus einer grünen Leuchtdiode. (Fotos: MPE)

#### 5 Bilder von Objekten am sichtbaren Himmel



**Abb. 4** Das sichtbare Bild der Sonne, aufgenommen mit dem Lobster-Eye-Röntgenteleskop. (Foto: MPE)

Abbildung 4 zeigt ein Bild der Sonne, welches mit dem Lobster-Eye-Röntgenteleskop aufgenommen wurde. Verwendet wurde hierzu ein improvisierter

Aufbau, da das Observatorium des MPE aus Sicherheitsgründen nicht für Sonnenaufnahmen verwendet werden kann. Das Sternbild der Plejaden ist in Abbildung 5 gezeigt, hier gemessen mit einer am BART-Teleskop des tschechischen Ondrejov Observatoriums angebauten Lobster-Eye-Optik.



**Abb. 5** Sternbild der Plejaden, gemessen mit einem Lobster-Eye-Röntgenteleskop. (Foto: CTU Prag)

#### 6 Zusammenfassung und Ausblick

Lobster-Eye-Röntgenteleskope nutzen Planspiegel unter streifendem Lichteinfall. Die hierbei verwendeten Spiegelschichten reflektieren jedoch auch sichtbare Strahlung hervorragend. Die Lobster-Eye-Optik wurde bereits im Jahr 2021 an der Testanlage PANTER des MPE im Röntgenbereich charakterisiert [1] [2]. In einer weiteren Testkampagne wurden nun die Abbildungseigenschaften mit realen Objekten des sichtbaren Himmels untersucht. Solche Röntgenteleskop-Funktionstests durch die Beobachtung astronomischer Objekte am sichtbaren Himmel vereinfachen die Charakterisierung von Röntgenoptiken. Die weitere Analyse dieser Daten wird wertvolle Erkenntnisse für den Einsatz von Lobster-Eye-Teleskopen für beabsichtigte satellitengestützte Röntgenbeobachtungen liefern.

#### Danksagung

Diese Arbeit wurde durch ein internes Stipendium der Tschechischen Technischen Universität unter der Nummer SGS21/120/OHK3/2T/13, sowie durch Projekte der Bayerischen-Tschechischen Hochschulagentur (BTHA) unterstützt. Das ACCASI-Projekt wird durch das bayerische Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst gefördert.

#### Referenzen

- [1] T. Döhring, V. Stehlikova, V. Burwitz, G. Hartner, T. Müller, T. Schmidt, S. Rukdee, P. Friedrich, F. Sahin, R. Hudec: „Charakterisierung von Weitwinkel-Röntgenteleskopen in der Testanlage PANTER“, DGaO-Proceedings 2021, urn:nbn:de:0287-2021-P004-1
- [2] V. Stehlikova, T. Döhring, R. Hudec, M. Stollenwerk, J. Stadtmüller, S. Zeising, D. Flachs, V. Marsikova, A. Inneman, V. Burwitz, M. Klementova: “Lobster eye type X-ray telescope with chromium-iridium coated tri-layer mirrors”, Proc. SPIE 11776, 1177605 (2021)