

Seit etwa zweieinhalb Jahren wird auf dem Calar-Alto-Observatorium in Südspanien das adaptive Optiksistem mit Laserleitstern, kurz ALFA (Adaptive Optics with a Laser for Astronomy) eingesetzt.

Nach den ersten Beobachtungsnächten, die durchaus sehr gute – selbst heute nur von wenigen Teleskopen erreichte – Ergebnisse mit beugungsbegrenzter Auflösung brachten, wurde allerdings schnell klar, daß ALFA noch weit von einem Standard-Beobachtungsinstrument entfernt war. Auf dem Weg zu einem solchen »common user instrument« gab es neben den in SuW 11 und 12/1997 beschriebenen Ergebnissen erstmals im Dezember 1997 ein Resultat unter Zuhilfenahme des künstlichen Leitsterns. Dabei wurde ein Doppelstern im Sternbild Perseus, in welchem ein junges protoplanetares System vermutet wird und das sich ohne Adaptive Optik kaum auflösen läßt, klar in seine zwei Komponenten (mit 0.6 Bogensekunden Abstand) getrennt (siehe Pressemitteilung auf der ALFA-Homepage: <http://www.mpia-hd.mpg.de/MPIA/Projects/ALFA>).

Dennoch zeigte sich, daß die optimale Effizienz von ALFA noch nicht erreicht war.

Adaptive Optik liefert erste Ergebnisse mit Laserleitstern

Erst im August 1998, genau rechtzeitig zu Beginn der Freigabe von ALFA für alle Astronomen, gelang der wohl entscheidende Durchbruch. Beispielhaft dafür zeigt Abb. 1 das Trapez im Orion, aufgenommen im Februar 1999. Das Bild gibt den Mittelwert von vier Aufnahmen mit jeweils einer Einzelintegrationszeit von 2 s wieder. Es handelt sich um Rohdaten, es wurden keine Entfaltungen oder ähnliche »Bildverbesserungen« vorgenommen. Der Leitstern für die Adaptive Optik war für diese Aufnahme θ^1 Ori C, der helle Stern links unterhalb der Bildmitte. Die Aufnahme ist in logarithmischer Helligkeitsskalierung dargestellt, um Beugungsringe und Seeing-Halos der einzelnen Sterne deutlich sichtbar zu machen. Die Zahlen rechts neben ausgewählten Sternen geben das erreichte Strehl-Verhältnis in Prozent (obere Zahl – dies gibt das Verhältnis der erreichten Spitzen-

intensität zur maximal theoretisch erreichbaren an) und die Halbwertsbreite des Kerns der jeweiligen PSF in Bogensekunden (untere Zahl, der theoretisch erreichbare Wert ist hier 0.13) an. Deutlich erkennbar ist der Effekt der Anisoplanasie – weiter von θ^1 Ori C entfernte Sterne weisen deutlich geringere Strehl-Zahlen und größere Halbwertsbreiten auf. Die gelbe Ausschnittsvergrößerung zeigt deutlich die Beugungsringe um einen Stern – bei genauem Hinschauen sind derartige Ringe auch um die meisten anderen Sterne im Feld erkennbar. Die blaue Ausschnittsvergrößerung zeigt – in linearer Skalierung – den klar aufgelösten Doppelstern θ^1 Ori A (genauere Erklärungen zu Strehl-Zahlen und PSF finden sich in SuW 1 und 3/1999).

Die zur Zeit erreichbare optische Qualität der Adaptiven Optik zeigt Abb. 2. ALFA lieferte hier unter relativ guten atmosphärischen Bedingungen (Seeing < 1") beugungsbegrenzte Bilder mit Strehl-Zahlen von 62 % im K-Band (2.2 μ m) und von 12 % im J-Band (1.2 μ m). Die Strehl-Zahl der Kalibrierquelle (Referenzfaser) betrug 85 %. Die Halbwertsbreite betrug 0".14 im K-Band und war kleiner als 0".1 im J-Band.

Nun ist die Zahl der astronomisch interessanten Objekte, die selbst als Leitstern für die Adaptive Optik genutzt werden können, relativ klein. Momentan liegt die Grenzgröße für Leitsterne bei $V = 13$ mag. Ist das zu untersuchende Objekt jedoch schwächer als $V = 13$ mag und findet sich kein hellerer Leitstern innerhalb eines Radius von ca. 30" (isoplanatischer Winkel) um das zu untersuchende Objekt, so ist der Laserleitstern der einzige Ausweg.

Im Rahmen eines astronomischen Forschungsprojektes wurde – weltweit zum ersten Mal – im August 1998 der Laserleitstern zur Korrektur eines extragalaktischen Objekts, der Galaxie UGC 1347, benutzt. Ein Stern 12. Größe in einem Winkelabstand von 1' wurde dabei als Tip-tilt-Referenz gewählt. Die Tip-tilt-Referenz zur Korrektur der Gesamtbildbewegung muß auch bei Verwendung des Lasers ein natürlicher Stern sein, da der Laserleitstern sowohl beim »hochschießen« als auch beim zweiten Durchlaufen der Atmosphäre zum Teleskop hin eine Tip-tilt-Bewegung erfährt. Der Laser kann somit keine direkt verwertbare Information der Gesamtbildbewegung liefern; vielmehr handelt es sich

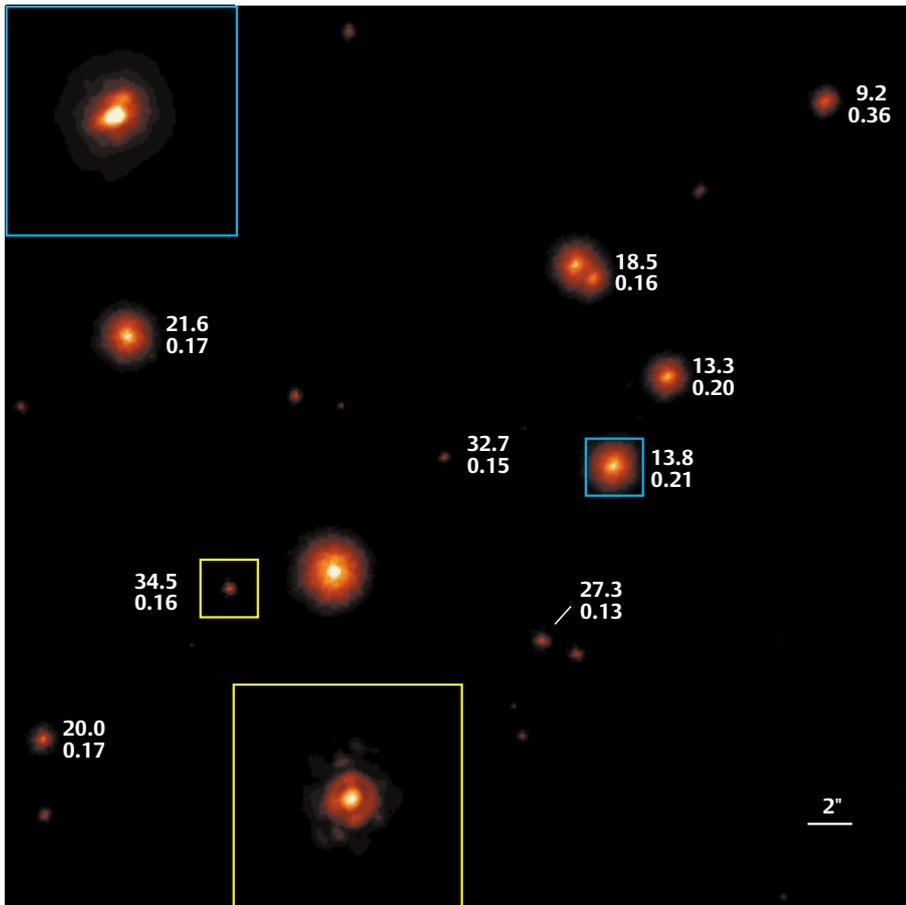


Abb. 1: Trapezhaufen im Orion bei 2.2 μ m Wellenlänge, aufgenommen mit OMEGA-Cass und aktivierter Adaptiver Optik am 3.5-m-Teleskop auf dem Calar Alto.

Blick in die Forschung

In dieser Rubrik werden neuere Ergebnisse aus der internationalen Fachliteratur vorgestellt. Daneben sind auch kurze Originalbeiträge aus den Arbeitsgruppen an den astronomischen Instituten willkommen.

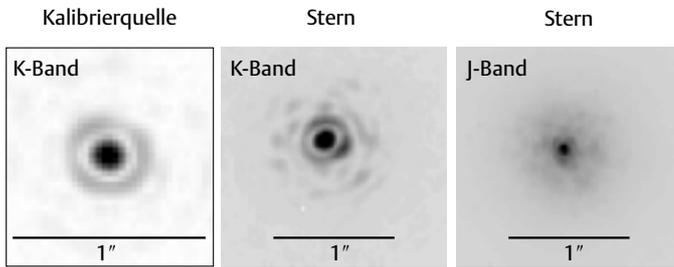


Abb. 2, links: PSF der ALFA-Kalibrierquelle, eines Sterns im K-Band (mitte) und rechts im J-Band.

Alle Aufnahmen mit OMEGA-Cass bei einer Pixelgröße von $0''.04$.

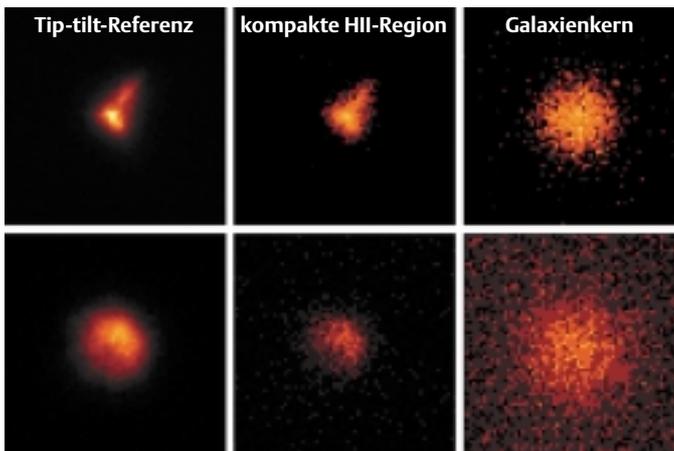


Abb. 3: Detailaufnahmen von UGC 1347 (Mitte und rechts) mit adaptiver Optik und Laserleitstern (obere Reihe) und ohne Adaptive Optik (unten). Alle Bilder wurden im K-Band mit $0''.08/\text{pxl}$ aufgenommen. Bildbreite jeweils $5''.4$.

um eine Überlagerung zweier Gesamtbildbewegungen. Die Halbwertsbreite einer Punktquelle (in diesem Fall die Kernregion der Galaxie) wurde dabei von $1''.1$ auf $0''.4$ verbessert, wie in Abb. 3 gezeigt. In der linken Spalte ist der zur Tip-tilt-Korrektur verwendete Stern abgebildet.

Daß fast zwei Jahre zwischen »first light« und dem in Abb. 3 gezeigten Ergebnis liegen ist auf drei Gründe zurückzuführen: Erstens scheint die zur Zeit maximal erreichbare Helligkeit des Laserleitsterns im Zenit mit $V = 9$ mag zwar mehr als ausreichend für die Adaptive Optik zu sein, allerdings wird dieser Wert durch folgende Effekte wieder ungünstiger: Erzeugt man den Laserleitstern nicht im Zenit sondern bei ca. 50° Zenitdistanz, wird der Laserleitstern um eine Magnitude schwächer. Außerdem ist die effektive Helligkeit des Laserleitsterns im Vergleich zu beispielsweise einem Stern der Spektralklasse A0 um einen Faktor 3.6 geringer. Dieser Effekt kommt dadurch zustande, daß die Kamera der Adaptiven Optik (Wellenfrontsensor) von ca. 400 bis 900 nm empfindlich ist und dieser Bereich eben nicht nur das V-Band abdeckt. Zweitens darf auf dem Weg zur Mesosphäre möglichst wenig Laserlicht zurückgestreut werden. Diese Rückstreuung hängt hauptsächlich von der Transparenz der Atmosphäre ab und kann z. B. in Sommernächten mit erhöhten Anteilen von Staub- oder Aerosolpartikeln zu deutlichen

Helligkeitseinbußen führen. Drittens ist ein optimales Fokussieren des Laserleitsterns auf dem Wellenfrontsensor aus instrumentellen Gründen recht schwierig. Eine schlechte Fokusslage aber beeinträchtigt



Abb. 4: Der Laserstrahl beim Austritt aus dem Projektionsteleskop (schwarzer Tubus rechts in der Bildmitte) sowie die darunter befindliche Analysebank. Am oberen Bildrand leuchtet der von der geschlossenen Kuppel reflektierte unfokussierte Laserstrahl.



Abb. 5: Die Aufnahme zeigt den Laserstrahl beim Austritt aus der Teleskopkuppel. Gut erkennbar ist die Rayleigh-Rückstreuung sowie die Reflexion des Laserstrahls an einer Wolke. Abb. 4 und 5 wurden etwa 30 Sekunden lang belichtet.

ebenfalls stark die erreichbare Helligkeit.

Aus diesen Gründen haben alle Arbeiten an der Laseranlage zur Zeit das Ziel, die Größe des Leitsterns zu minimieren und dessen Helligkeit zu maximieren. Dazu wurde im Rahmen einer Diplomarbeit unmittelbar vor dem Projektionsteleskop eine optische Analysebank (siehe auch Abb. 4) aufgebaut, die es erlaubt, nahezu alle physikalischen Parameter (Strahlhülle, Intensität, Wellenfront, Polarisationszustand und Kollimation) des Laserlichts vor seiner Projektion auf die mesosphärische Natriumschicht zu studieren. Zentrales Ergebnis dieser Studie ist, daß die Strahlqualität hauptsächlich durch statische Aberrationen, hervorgerufen in dem Strahltransportsystem, leidet. Die genaue Ursache dieser Aberrationen wird momentan untersucht. Zusätzlich zittert der Laserstrahl durch Luftunruhe in der Teleskopkuppel, was zu einer Verschmierung des Leitsterns führt. Diese Positionsabweichungen werden durch geschlossene Regelkreise kompensiert, ganz ähnlich einer Tip-tilt-Korrektur.

Wie in SuW 12/97 beschrieben, hängt die Helligkeit des Leitsterns vom Polarisationszustand des projizierten Laserstrahls

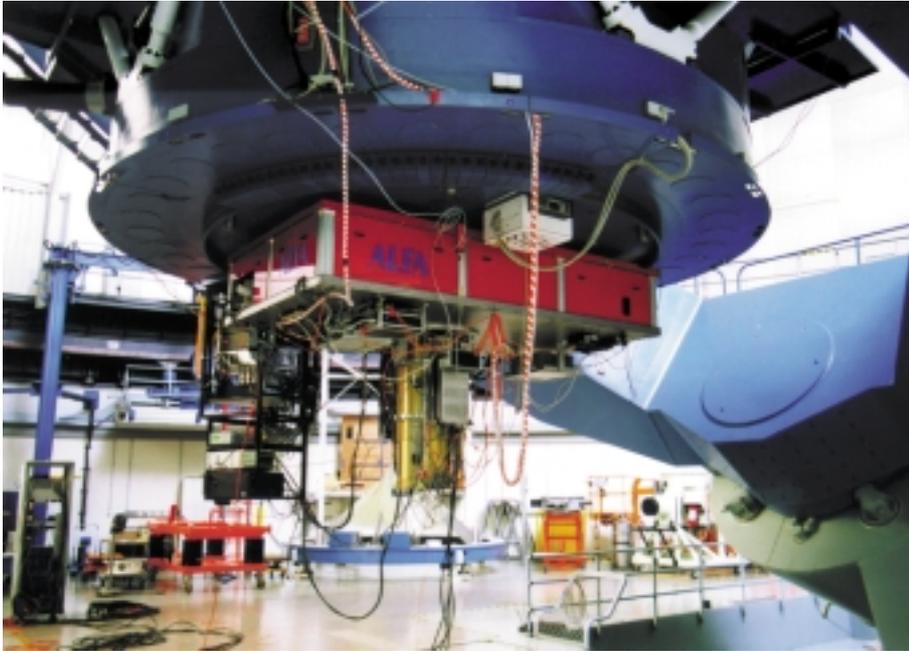


Abb. 6: ALFA zusammen mit der golden schimmernden Infrarotkamera OMEGA-Cass am 3.5-m-Teleskop des Calar Alto.

ab; idealerweise sollte zirkular polarisiertes Licht verwendet werden. Obwohl eine Sättigung der Natriumschicht nicht stattfindet, zeigt sich dennoch ein ausgeprägter Effekt: die Helligkeit des Laserleitsterns sinkt bei Verwendung linear polarisierten Lichts um bis zu 30%.

Auch bei den mit ALFA betriebenen Infrarot-Instrumentierungen sind Veränderungen eingetreten. Stand beim »first light« von ALFA nur eine für heutige Verhältnisse relativ kleine Infrarotkamera zur Verfügung (MAGIC hat 256×256 Pixel), so ist ALFA zusammen mit der großen Infrarotkamera (OMEGA-Cass hat 1024×1024 Pixel) ein zur Zeit einmaliges, allen am 3.5-m-Teleskop des Calar-Alto-Observatoriums beobachtenden Astronomen zur Verfügung stehendes Instrument. Abb. 6 zeigt ALFA mit OMEGA-Cass am Cassegrain-Flansch des 3.5-m-Teleskops im Februar 1999.

Stefan Hippler, Thomas Ott,
Markus Feldt, Sebastian Rabien,
Markus Kasper

Schon viel wurde darüber diskutiert, ob nach astronomischen Maßstäben vor nicht allzulanger Zeit eine Supernova in der Nähe der Erde explodierte – mit möglichen Auswirkungen auf die Biosphäre unseres Planeten. So befindet sich beispielsweise die Sonne im Innern einer heißen Gasblase, der »Local bubble«, die als Folge von einer oder mehreren Supernovae entstanden sein könnte. Am Grund des Pazifik fanden kürzlich Physiker von der TU München und Kollegen vom MPI für Astrophysik, Garching, sowie der Universität Kiel Hinweise auf eine Supernova, die möglicherweise vor sechs Millionen Jahren in Sonnennähe explodiert ist (K. Knie et al., Phys. Rev. Lett., eingereicht).

Supernovae erzeugen eine Vielzahl schwerer Elemente und schleudern sie mit der Explosionswolke ins All. Darunter sind

Eisen von der Supernova

auch radioaktive Isotope, die auf der Erde in natürlicher Form nicht vorkommen, wie Plutonium 244 oder Californium 247. In relativ großen Mengen entsteht auch das Isotop Eisen 60, das mit einer Halbwertszeit von 1.5 Millionen Jahren zerfällt. Ein Stern mit mindestens 15 Sonnenmassen reichert das umgebende Medium laut Theorie mit schätzungsweise 10^{-5} Sonnenmassen dieser Substanz an. Eisen 60 lagert sich zusammen mit anderen schweren Elementen schon bald nach der Explosion zu Staubteilchen zusammen, mit denen es dann wie in einem Miniraumschiff durchs All fliegt.

Ist nun, wie einige Astrophysiker vermuten, in der Vergangenheit in Sonnennähe eine Supernova explodiert, so sollte der mit Eisen 60 angereicherte Staub auch in die Erdatmosphäre eingedrungen und langsam auf den Boden und die Meere niedergerieselt sein. Eine Anreicherung des Meeresbodens mit diesem Isotop wäre also ein Hinweis auf einen interstellaren Ursprung.

Den Physikern der TU München gelang es mit Hilfe eines höchst empfindlichen Beschleuniger-Massenspektrometers den Eisen-60-Gehalt einer Tiefseekruste zu messen, welche 1989 mit dem Forschungsschiff »Sonne« aus 1300 Meter Tiefe vom Boden des Südpazifik geborgen worden war. Hier-

bei zeigte sich in den drei obersten Altersschichten (Alter: 0–2.8 Millionen Jahre bzw. 3.7–5.9 und 5.9–13 Millionen Jahre) eine mit dem Schichtalter abnehmende Eisen-60-Konzentration (Abb. 1). Weltweit gibt es derzeit kein anderes Labor, das dieses Isotop in einer derart geringen Konzentration messen könnte.

In der ältesten Schicht entspricht die Konzentration dem meistechnisch bedingten Untergrund, während sie in der jüngsten Schicht signifikant größer ist. Nun entsteht ein geringer Zustrom von Eisen-60-Kernen bereits dadurch, daß energiereiche Teilchen der kosmischen Strahlung in der Erdatmosphäre mit Krypton- und im interstellaren Medium mit Nickel-Atomkernen zusammenstoßen und dabei dieses Isotop erzeugen. Dieser Anteil ist aber schätzungsweise um zwei Größenordnungen geringer als der Meßuntergrund.

Die Physiker korrigierten nun die gemessenen Konzentrationen mit dem radioaktiven Zerfallsgesetz. Hierbei fanden sie heraus, daß sich ursprünglich in der mittleren Schicht am meisten Eisen 60 abgelagerte. Dies schreiben sie einer oder mehreren Supernovae zu, die vor sechs Millionen Jahren in einem Umkreis von höchstens hundert Lichtjahren Entfernung explodiert sind.

Thomas Bührke

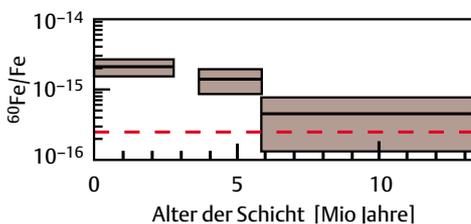


Abb. 1: Die in der Tiefseekruste gemessenen Eisen-60-Konzentrationen relativ zu stabilem Eisen. Ebenfalls eingetragen sind der Meßuntergrund (gestrichelt) und die Fehler (statistisch und bedingt durch die Unsicherheit in der Halbwertszeit des Eisen-60-Isotops).