

Die Nachbarn der Sonne

von Ralf-Dieter Scholz

Wie gut kennen wir unsere Nachbarsterne? Sehen wir sie, wenn wir an den Himmel schauen? Doch was scheinbar hell am Firmament leuchtet, muss nicht in der Nähe liegen. Unscheinbare Zwergsterne und vielleicht noch mehr missratene Sterne (braune Zwerge) umgeben uns in großer Zahl.

Die Dominanz der Zwergsterne

Die Welt der Sterne zeichnet sich durch eine große Vielfalt aus, die in der astronomischen Terminologie nahezu märchenhaft anmutet. Da gibt es weiße Zwerge, Unterzwerge, normale Zwerge (bzw. Hauptreihensterne), Unterriesen, normale Riesen, helle Riesen, Überriesen und Über-Überriesen, um nur die wichtigsten Leuchtkraftklassen zu nennen.

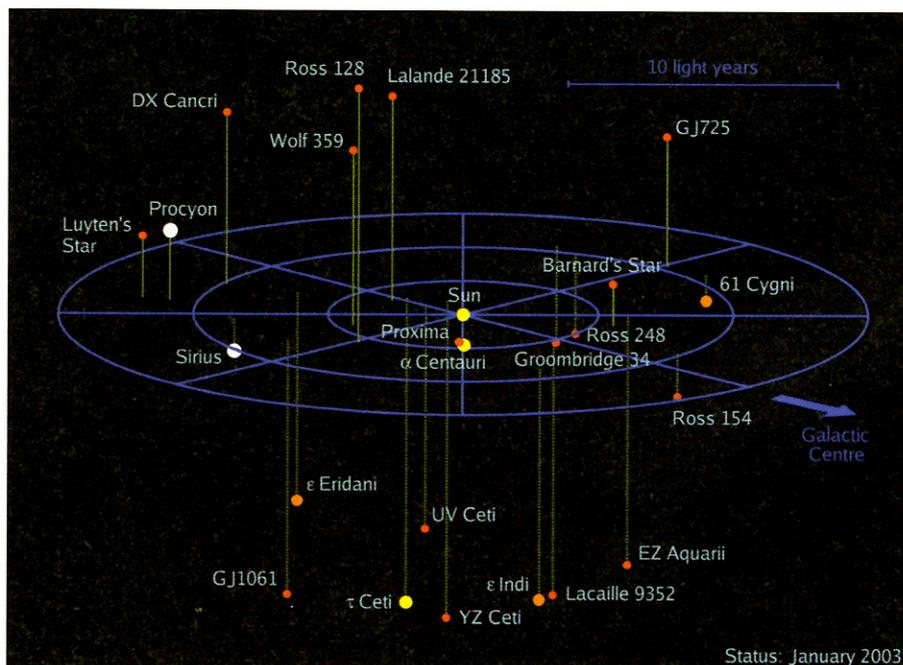
Schauen wir uns den Nachthimmel ohne die Hilfe eines Teleskops an, so gewinnen wir nur einen sehr be-

schränkten Eindruck von den wirklichen Nachbarn unserer Sonne. Die meisten der scheinbar hellsten Sterne am Himmel sind heißer und leuchtkräftiger und/oder wesentlich größer als unsere Sonne, weshalb ihr Licht auch aus großen Entfernungen noch zu uns dringt. Das bläulich-weiße Licht der meisten mit bloßem Auge sichtbaren Sterne deutet auf eine höhere Oberflächentemperatur im Vergleich zur Sonne hin. Bei den wenigen rötlich erscheinenden Sternen handelt es sich um weit entfernte rote Riesen wie z. B. den ca. 650 Lichtjahre

entfernten Beteigeuze im Sternbild Orion.

Von den eigentlich am häufigsten auftretenden direkten Nachbarn der Sonne, den roten Zwergen vom Spektraltyp M, ist kein einziger mit bloßem Auge zu sehen! Das liegt an der Gesetzmäßigkeit der Hauptreihe, nach der die relativ kühlen roten Zwerge auch die geringsten Leuchtkräfte unter allen Hauptreihensternen aufweisen. Die Durchmesser und Massen der M-Zwerge sind etwa 2- bis 12-mal kleiner als bei der Sonne (s. z. B. den M1-Zwerg Gliese 229A in Bild 4). Auch kein einziger weißer Zwerg ist ohne ein Teleskop zu beobachten, denn diese Objekte sind zwar wesentlich heißer als die Sonne, besitzen aber auf Grund ihres extrem kleinen Durchmessers (etwa ein Hundertstel des Sonnendurchmessers) nur eine mit den roten Zwergen vergleichbare Leuchtkraft.

Bild 1 zeigt die unmittelbare Umgebung der Sonne: Die Sonne und ihr ähnliche Hauptreihensterne vom Spektraltyp G sind gelb dargestellt. Etwas heißer und massereicher sind die zwei weiß dargestellten Hauptreihensterne vom Spektraltyp A und F, Sirius und Procyon (die jeweils noch einen nicht gezeigten weißen Zwerg als Begleiter haben). Alle anderen aufgeführten Sterne gehören ebenfalls zur Hauptreihe, sind aber kühler und kleiner als die Sonne und werden als K-Zwerge (orange dargestellt) und M-Zwerge (rot) bezeichnet. Bei einigen weiteren Sternen handelt es sich in Wirklichkeit um Doppel- und Mehrfachsysteme. Aber lediglich bei dem uns nächsten Sternsystem, α Centauri, ist die dritte Komponente, Proxima (oder α Centauri C), separat dargestellt, da sie sich in relativ großem Abstand (mehr als 10000 Astronomische Einheiten) von α Centauri A/B befindet und der Sonne damit noch etwas näher ist.



1 Die nächsten Nachbarn der Sonne: Gezeigt sind die Sterne im Umkreis von etwa einem Dutzend Lichtjahren (Darstellung: M. J. McCaughrean nach einer Vorlage von R. Powell, siehe <http://www.anzwers.org/free/universe/12lys.html>).

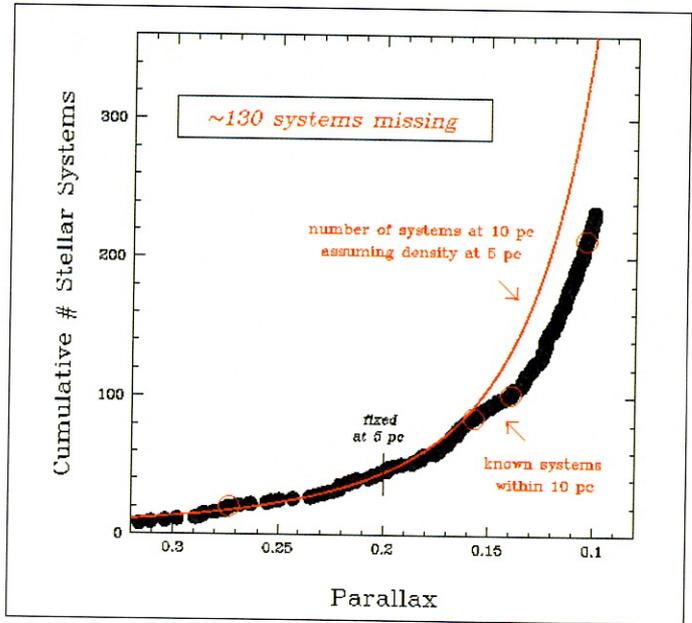
Die Sterne in unserer Nähe sind fast alle seit langem bekannt und man möchte meinen, dass wir uns in unserer Nachbarschaft gut auskennen. Überraschenderweise ist das aber nicht der Fall. Denn sogar in der unmittelbaren Sonnenumgebung (bis zu einer Entfernung von 33 Lichtjahren) warten noch über ein Drittel der Sterne und wahrscheinlich mehr als 90 % der misstratenenen Sterne, sogenannte braune Zwerge, auf ihre Entdeckung.

Die unbekannte Nähe

Die Berechnung der Dunkelziffer für die Sterne unserer Umgebung ist einfach: Setzt man voraus, die allernächste Umgebung (z. B. bis zu einer Entfernung von 16 Lichtjahren) vollständig zu kennen, und nimmt man außerhalb dieses Raums die gleiche Sterndichte an, so ergibt sich z. B. aus den Sternzählungen bis in eine Entfernung von 33 Lichtjahren eine Dunkelziffer von über 30 %. Das heißt, neben den bekannten 227 Systemen (163 Einzelsterne, 46 Doppelsterne, 13 Dreifachsysteme, 4 Vierfachsysteme und 1 Fünffachsystem) müssten weitere 130 Systeme in diesem Radius existieren. Diese Zahlen wurden von T. Henry und Mitarbeitern 1997 veröffentlicht [1], nachdem sie den M5.5-Zwerg GJ1061 (s. Bild 1) in nur 12 Lichtjahren Entfernung entdeckt hatten. Bild 2 zeigt die kumulative Anzahl der Sternsysteme in Abhängigkeit von der Entfernung.

Nun ist es aber auch nicht auszuschließen, dass es sogar innerhalb von 16 Lichtjahren Entfernung noch Sterne zu entdecken gibt. Tatsächlich ist das Anfang 2003 gelungen [7]: Der kühle rote Zwergstern mit dem schwer zu merkenden Namen SO 025300.5+165258 (die Namen der Entdecker werden heutzutage kaum noch verwendet) vom Spektraltyp M6.5 wurde gleich etwas überschwänglich als das drittnächste System (nach dem Dreifachsystem Alpha Centauri A/B plus Proxima und dem einsamen Barnards Stern) gefeiert. Dabei wurde die in diesem Fall relativ ungenaue trigonometrische Entfernungsbestimmung bevorzugt. Die aus dem Spektraltyp und der Helligkeit abgeleitete photometrische Entfernung platziert den Stern dagegen in etwas größerem Abstand, aber

2 Die „fehlenden“ Sterne der Sonnenumgebung: Nimmt man eine gleichmäßige Sterndichte in der Sonnenumgebung an, so ergibt sich aus der Zahl der bekannten Sterne innerhalb von 16 Lichtjahren, dass zwischen 16 und 33 Lichtjahren noch 130 bisher unbekannte Systeme liegen müssten.
(Quelle: T. Henry [1])



immer noch innerhalb der 12 Lichtjahre, die in Bild 1 gezeigt sind.

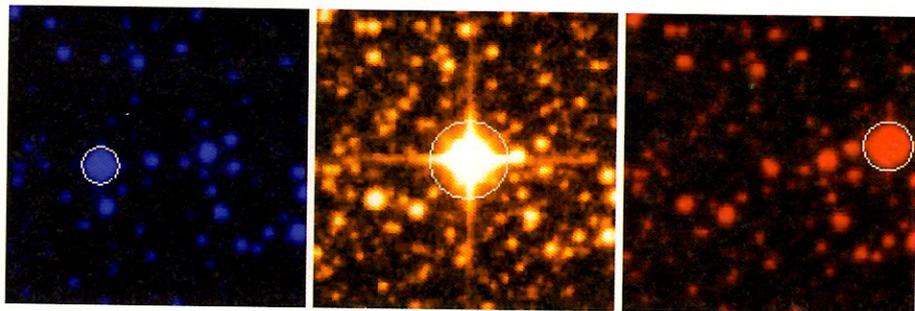
Die genaue Kenntnis der Nachbarsterne bildet die Grundlage für unser Verständnis der Sternentstehung und die daraus resultierende Massen- und Leuchtkraftverteilung der Sterne. Die nächsten Vertreter eines Sterntyps dienen als Musterobjekte, die detailliert untersucht werden können. Auch die Planetensuche konzentriert sich auf sonnennahe Sterne. Es ist also genügend Motivation vorhanden, um nach den noch unbekanntesten nahen Zwergen zu suchen. Grundlage für die Identifizierung der meisten nahen Sterne war, wie auch bei der oben genannten jüngsten Entdeckung, die Feststellung der großen Eigenbewegung.

Keine Fixsterne

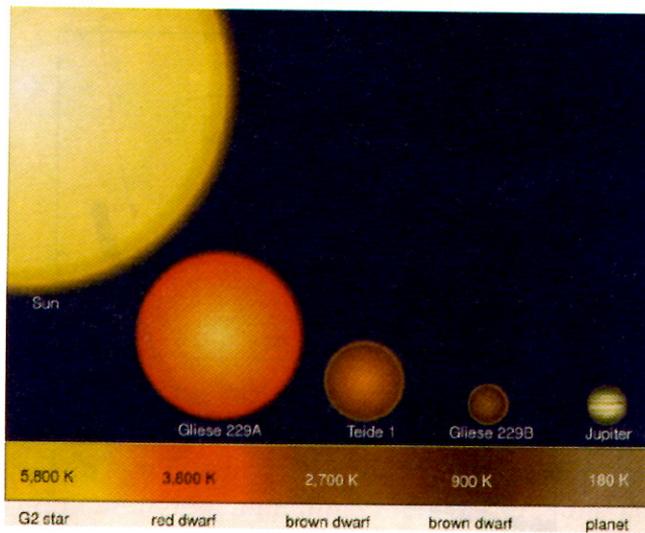
Der Begriff „Fixstern“, von den Astronomen des Altertums zur Unterscheidung

von den „Wandelsternen“, d. h. den Planeten, eingeführt, täuscht darüber hinweg, dass alle Sterne in Wirklichkeit mit hohen Geschwindigkeiten (viele Kilometer pro Sekunde!) durch den Raum rasen. Dass wir sie am Himmel scheinbar stehen sehen, hängt nur mit ihren großen Entfernungen zusammen.

Die Sonne befindet sich an der Peripherie der Milchstraße, genauer gesagt in einem der äußeren Spiralarme, die sich in der flachen galaktischen Scheibe anordnen. Zusammen mit den meisten Sternen ihrer Umgebung bewegt sie sich mit etwa 220 km/s um das galaktische Zentrum. Relativ zueinander bewegen sich die Scheibensterne nur mit Geschwindigkeiten von einigen km/s. Allerdings gibt es auch noch andere Komponenten unserer Galaxis, wie den dünn besiedelten Halo, der nicht an der Rotation um das galaktische Zentrum teilnimmt. Sterne, die zu diesem Halo gehören, weisen hohe



3 Proxima, der uns nächste Stern, ein roter Zwerg vom Spektraltyp M5, auf drei Archivaufnahmen (v. l. n. r.): 1976 im blauen, 1982 im extrem roten (I-Band), und 1993 im roten Spektralbereich. Bei den großen Epochendifferenzen ist die Eigenbewegung in diesen 2 mal 2 Bogenminuten großen Himmelsausschnitten deutlich zu erkennen.
(Bilder aus SuperCOSMOS Sky Surveys, <http://www-wfau.roe.ac.uk/sss/pixel.html>)



4 Rote und braune Zwerge im Vergleich zur Sonne und zum Planeten Jupiter. Die Durchmesser der braunen Zwerge gleichen etwa dem des Jupiter, obwohl sie mit etwa 80 bis 13 Jupitermassen wesentlich massiver sind. (Quelle: <http://astron.berkeley.edu/~stars/bdwarfs/>)

um für nahe Sternkandidaten benutzt. Allerdings kann dies zu einer möglichen systematischen Verfälschung der Stichprobe der nahen Sterne führen, da auch eine größere Zahl von nahen Sternen ohne nennenswerte Eigenbewegungen denkbar ist, die sich parallel zur Sonne bewegen.

Als sehr effektiv hat sich eine kombinierte Suchmethode erwiesen: Die Identifizierung von bekannten Sternen großer Eigenbewegung mit hellen Quellen aus neuen Himmelsdurchmusterungen im infraroten Licht hat zur Entdeckung weiterer bisher unbekannter roter Zwerge in der Nähe des Sonnensystems geführt [4].

Geschwindigkeiten (bis zu mehreren 100 km/s) relativ zur Sonne auf.

Die zwei uns nächsten roten Zwergsterne, Proxima und Barnards Stern (s. Bild 1), sind gerade zwei Vertreter dieser unterschiedlichen Sternpopulationen. Die scheinbare Bewegung an der Himmelskugel, die so genannte Eigenbewegung, beträgt bei Proxima (Bild 3) bereits beachtliche 4 Bogensekunden pro Jahr (arcsec/yr), was einer Tangentialgeschwindigkeit von etwa 23 km/s entspricht. Barnards Stern weist die größte bekannte Eigenbewegung von etwa 10 arcsec/yr auf, die unter Berücksichtigung seiner etwas größeren Entfernung eine Tangentialgeschwindigkeit von 88 km/s ergibt. Zudem hat Barnards Stern eine wesentlich größere Radialgeschwindigkeit relativ zur Sonne (-111 km/s) gegenüber der von Proxima (-20 km/s). Während also Proxima noch eine Weile unser nächster Nachbar bleibt, fliegt Barnards Stern sozusagen

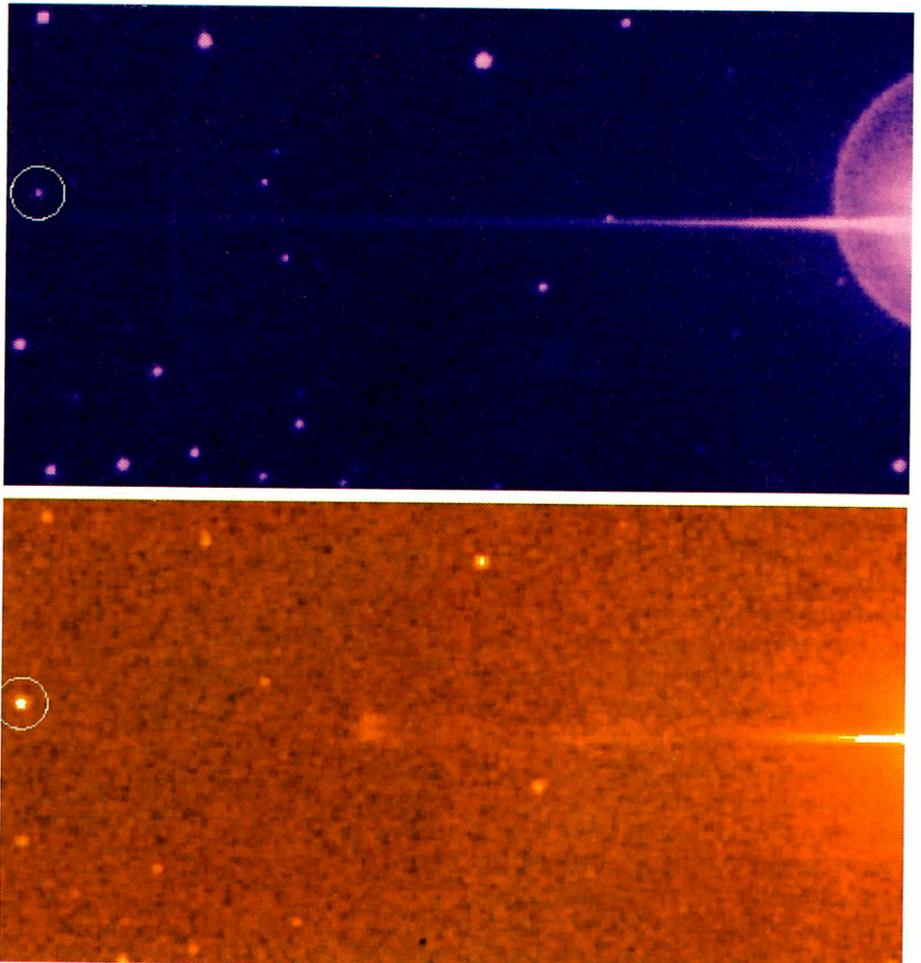
nur mal kurz bei uns vorbei. Auf Grund seiner hohen Raumgeschwindigkeit relativ zur Sonne wird er zum galaktischen Halo (bzw. zu einer Population der „dicken galaktischen Scheibe“) gezählt.

Da die direkte Entfernungsbestimmung mit der Messung trigonometrischer Parallaxen sehr zeitaufwendig ist, wird eine große Eigenbewegung oft als ein statistisches Auswahlkriterium

Schwer zu finden: die misstratenen Nachbarn

Als braune Zwerge bezeichnet man Sterne mit „Fehlzündung“. Aus noch ungeklärten Gründen (verschiedene Umstände sind denkbar) sammeln sie bei ihrer Entstehung nicht genügend Masse an, d. h. weniger als etwa 8 Hundertstel der Sonnenmasse. Diese

5 Epsilon Indi A (der helle Stern am rechten Rand) und sein neu entdeckter Begleiter [6], der braune Zwerg Epsilon Indi B (eingekreist). Das obere Bild ist ein Ausschnitt aus einer der zwei photographischen Aufnahmen (im I-Band bei einer Wellenlänge von etwa 0,7 Mikrometern) aus den SuperCOSMOS Sky Surveys (SSS), die zur Entdeckung der großen Eigenbewegung dienten. Das untere Bild aus der infraroten Himmelsdurchmusterung des Two Micron All Sky Survey (2MASS) zeigt den gleichen Ausschnitt im Ks-Band bei einer Wellenlänge von etwa 2,1 Mikrometern. Der Vergleich beider Bilder macht sowohl die Eigenbewegung als auch die extreme Zunahme der Helligkeit von Epsilon Indi B vom optischen zum infraroten Licht (rote Farbe) deutlich. Die gezeigten Bildausschnitte von etwa 7 mal 3 Bogenminuten entsprechen einer Fläche von etwa 3 % der Vollmondfläche. (Bilder aus <http://www-wfau.roe.ac.uk/sss/pixel.html> und <http://irsa.ipac.caltech.edu/applications/2MASS/Visualizer/>)



Masse reicht nicht aus, um in ihrem Kern die Fusion von Wasserstoff zu Helium (die lang anhaltende Energieversorgung der Sterne) zu zünden. Sie schaffen es lediglich, in einer frühen Phase Deuterium zu verbrennen. Danach kühlen diese massearmen Objekte ab, wobei sie die im Vergleich zu Sternen bescheidene Hitze ihrer Jugend abgeben und langsam immer kälter werden. Über die Häufigkeit dieser missratenen Sterne wird noch spekuliert, doch könnte es mehr als doppelt so viele braune Zwerge wie Sterne geben [3]. Damit würden auch in der unmittelbaren Umgebung der Sonne (Bild 1) noch bis zu hundert Objekte dieser Art verborgen sein.

Wie können wir aus den Beobachtungen braune Zwerge von Sternen unterscheiden? Da die Massen nicht direkt gemessen werden können, müssen hier Modelle helfen, die den Zusammenhang mit beobachtbaren Größen wie der scheinbaren Helligkeit, der spektralen Energieverteilung (Temperatur) und der chemischen Zusammensetzung (Linienpektrum) erklären. Große Eigenbewegungen sind nur ein erstes Indiz für relative Nähe (oder aber tatsächlich große Raumgeschwindigkeit), sodass auch die absoluten Helligkeiten geschätzt werden können. Genauere Werte ergeben sich aber erst aus spektroskopischen, oder am besten trigonometrischen Parallaxenmessungen.

In den letzten acht Jahren wurden bei der systematischen Suche in der Umgebung bekannter naher Sterne, in Sternhaufen und im allgemeinen Feld mehrere hundert braune Zwerge entdeckt. Zur spektralen Klassifizierung der extrem kühlen Objekte mussten zwei weitere Spektralklassen, L (1300-2200 K) und T (weniger als 1300 K), eingeführt werden [2],[5]. Allerdings können bereits unter den späten M-Zwergen (M6 bis M9) braune Zwerge ausgemacht werden (wie z. B. der noch relativ heiße M8-Zwerg Teide 1 in den Plejaden, s. Bild 4). Die Temperaturen der späten L-Zwerge (L5 bis L9) und aller T-Zwerge sind bereits deutlich zu gering für Sterne.

Epsilon Indi B – der nächste braune Zwerg

Der erste braune Zwerg in der in Bild 1 gezeigten direkten Nachbarschaft der

Sonne wurde Anfang des Jahres 2003 aufgespürt [6]. Er wurde als ein im sichtbaren Licht äußerst schwach, doch im Infraroten deutlich heller leuchtender Begleiter des wohlbekannten hellen Sterns Epsilon Indi identifiziert (Bild 5).

Die Entdeckung von Epsilon Indi B basierte auf der Messung der extrem großen Eigenbewegung mit Hilfe von Archivaufnahmen, die mit der Super-COSMOS-Messmaschine im schottischen Edinburgh digitalisiert und in einer Datenbank zur Verfügung gestellt wurden. Die gemessene Eigenbewegung von 4,7 arcsec/yr entspricht der Verschiebung um einen Mond Durchmesser in 400 Jahren und ist etwa halb so groß wie die des Rekordhalters, Barnards Pfeilstern. Eine solch große Eigenbewegung wurde seit mehr als 70 Jahren nicht mehr gefunden. Da ganz in der Nähe, in nur 7 Bogenminuten Abstand, Epsilon Indi A mit identischer riesiger Eigenbewegung lag, stand fest, dass es sich um ein Paar handelt. Allerdings um ein sehr ungleiches Paar, was die Helligkeit, Farbe (Temperatur) und Masse betrifft. Da die Entfernung des hellen Sterns Epsilon Indi A mit knapp 12 Lichtjahren aus Messungen mit dem Hipparcos-Satelliten genau bekannt ist, konnte aus der gemessenen Helligkeit seines Begleiters geschlussfolgert werden, dass es sich um ein sehr leuchtschwaches Objekt handeln muss.

Eine genauere erste Klassifikation ermöglichte die Aufnahme eines Spektrums im infraroten Licht mit dem New Technology Telescope (NTT) der ESO in La Silla, Chile. Dabei wurde Epsilon Indi B als früher T-Zwerg identifiziert und gehört damit zu einer erst vor wenigen Jahren definierten Objektklasse [5]. Das Spektrum weist typische Merkmale auf, die auf Wasserdampf und Methan in der Atmosphäre hindeuten und erlaubt die Ableitung einer Temperatur von unter 1000 Grad Celsius [6].

Erst kürzlich gewonnene Beobachtungen mit dem Very Large Telescope (VLT) der ESO in Paranal, Chile, mit Hilfe von adaptiver Optik lösten nun dieses Objekt als ein enges Paar von braunen Zwergen, Epsilon Indi Ba und Bb, auf [8]. Dabei konnten auch Spektren beider Komponenten gewonnen werden (T1 und T6), die bei einer Gleichsetzung des Alters mit dem von

Epsilon Indi A (1,9 Milliarden Jahre) zu Massenabschätzungen von 44 und 28 Jupitermassen führen. Die Komponenten erscheinen nur etwa 0,7 Bogensekunden voneinander getrennt, was bei der bekannten Entfernung nur knapp dem dreifachen Abstand zwischen Erde und Sonne entspricht. Die schwächere Komponente, Epsilon Indi Bb ist dem in Bild 4 gezeigten braunen Zwerg Gliese 229B sehr ähnlich. Die Messung der Bahnbewegung von Epsilon Indi Ba, Bb wird in den nächsten Jahren eine genaue Massenbestimmung dieses der Sonne am nächsten gelegenen Paares von braunen Zwergen ermöglichen.

In die TOP100 der nächsten Nachbarn der Sonne ist Bewegung gekommen. Zwischen vielen altbekannten und wohlklingenden Sternnamen tauchen neue, teilweise ungewohnte Namen auf, und auch eine noch kleine Fraktion brauner Zwerge hat sich etabliert. Übersichtliche und aktuelle Listen sind unter <http://www.anzwers.org/free/universe/nearstar.html> und <http://www.chara.gsu.edu/RECONS/> zu finden.

Literatur

- [1] Henry, T. J., et al.: *The solar neighborhood IV: discovery of the twentieth nearest star*. In: *Astronomical Journal*, 114, 388 (1997)
- [2] Kirkpatrick J. D., et al.: *Dwarfs Cooler than „M“: The Definition of Spectral Type „L“ Using Discoveries from the 2 Micron All-Sky Survey (2MASS)*. In: *Astrophysical Journal*, 519, 802 (1999)
- [3] Reid, I. N., et al.: *L Dwarfs and the Substellar Mass Function*. In: *Astrophysical Journal*, 521, 613 (1999)
- [4] Scholz, R.-D., Meusinger, H. & Jahreiß, H.: *Search for nearby stars among proper motion stars selected by optical-to-infrared photometry. I. Discovery of LHS 2090 at spectroscopic distance of 6 pc*. In: *Astronomy & Astrophysics*, 374, L12 (2001)
- [5] Burgasser, A. J., et al.: *The Spectra of T Dwarfs. I. Near-Infrared Data and Spectral Classification*. In: *Astrophysical Journal*, 564, 421 (2002)
- [6] Scholz, R.-D., et al.: *Epsilon Indi B: a new benchmark T dwarf*. In: *Astronomy & Astrophysics*, 398, L29 (2003)
- [7] Teegarden, B. J., et al.: *Discovery of a New Nearby Star*. In: *Astrophysical Journal*, 589, L51 (2003)
- [8] McCaughrean M. J., et al., *epsilon Indi Ba, Bb: the nearest binary brown dwarf*. In: *Astronomy & Astrophysics*, im Druck (2003)

Dr. Ralf-Dieter Scholz
Astrophysikalisches Institut Potsdam
An der Sternwarte 16
D-14482 Potsdam