

# Exoplanetensystem Gliese 581

Nun ist es also amtlich: Die Erde hat ihren Platz in der Vitrine der Einzigartigkeiten eingebüßt, zumindest ihre Masse und ihren Radius betreffend. Gliese 581 c hat ähnlichen Radius und seine Masse ist von derselben Größenordnung. Im Editorial und dem Bericht in unserer Rubrik »Blick in die Forschung« auf Seite 20–21 in diesem Heft schildert unser Chefredakteur die veröffentlichten Eigenschaften des Exoplanetensystems mit seinen bisher bekannten drei Planeten. Die Entdeckung gelang der schweizerischen Astronomengruppe, die auch schon den ersten Exoplaneten 51 Pegasi fand.

In den folgenden Aufgaben sollen einige Aspekte des nur 20 Lichtjahre entfernten Systems näher betrachtet werden.

Die Radialgeschwindigkeitskurve des Sterns Gliese 581 erreicht bei dessen Bewegung um das gemeinsame Schwerezentrum als Reaktion auf die Revolution seines zweiten Planeten Gl 581c während des Umlaufs maximal den Wert  $K = 3.01$  m/s (siehe Seite 21). Bei Bahnexzentrizität null und Bahnneigung nahe  $90^\circ$  gegen die Himmelsebene entspricht dies gerade der

Umlaufgeschwindigkeit um das Schwerezentrum (SZ).

**Aufgabe 1:** Wie groß ist die Masse  $M_p$  des Planeten c in Vielfachen der Erdmasse  $M_E = 5.974 \cdot 10^{24}$  kg? Sie ergibt sich aus:

$$M_p = v_*^3 \sqrt{\frac{P_p M_*^2}{2\pi G}} \quad (1)$$

Für die (beobachtete) Bahngeschwindigkeit gilt:  $v_* = K$ . Die Masse des roten Zwergsterns Gliese 581 ist  $M_* = 0.31 M_\odot$  (Sonnenmasse:  $M_\odot = 1.989 \cdot 10^{30}$  kg, Gravitationskonstante, neuester Wert laut [www.codata.org](http://www.codata.org):  $G = 6.6743 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ ).  $P_p = 12^d 931$  ist die Revolutionsperiode des Planeten c um Gl 581.

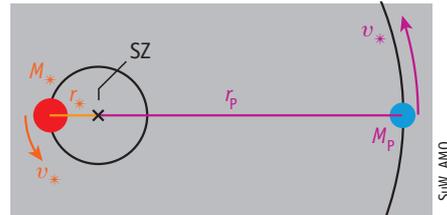
**Zusatzaufgabe:** Man leite Gleichung (1) her. **Hilfe:** Aus der Abbildung lässt sich ablesen:

$$M_* r_* = M_p r_p \quad (2)$$

Außerdem gilt für die große Bahnhalbachse  $a$ :

$$r_* + r_p = a \quad (3)$$

Ihre Lösungen senden Sie bitte bis zum **15. Juni** an: Redaktion SuW – Zum Nachdenken, Max-Planck-Institut für Astronomie, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg. Fax: (+49)0 6221-528-246.



Senkrechter Blick auf die Bahnebene von Gliese 581 c.

Die Bahngeschwindigkeit  $v_*$  ist gegeben durch:

$$v_* = 2\pi r_* / P_p \quad (4)$$

Schließlich gilt auch bei Gliese 581 das dritte Keplersche Gesetz:

$$a^3 = (P_p / (2\pi))^2 G (M_* + M_p) \quad (5)$$

**Tipp:** Mit Gleichung (2) lässt sich in (3) der unbekannte Abstand des Planeten vom Schwerezentrum eliminieren und mit (5) auch die unbekannte große Bahnhalbachse. Am Ende ist zu bedenken, dass  $M_* \gg M_p$  gilt.

**Aufgabe 2:** Mit Hilfe des Ergebnisses der Aufgabe 1 bestimme man aus Gleichung (5) die große Bahnhalbachse des Planeten Gliese 581 c.

## Lösung der Aufgabe aus dem April-Heft 2006

**Aufgabe 1:** Die von den Antennen des Deep-Space-Network ausgesandten Funksignale wurden von der Jupitersonde GALILEO wegen deren Geschwindigkeit relativ zur Sendestation nach der dichtesten Annäherung an die Erde rotverschoben, also zu niedrigeren Frequenzen hin, empfangen. Derselbe Effekt trat auf dem Rückweg der Signale von der Sonde zum Deep-Space-Network noch einmal auf. Aus diesem Grund tritt der Dopplereffekt bei der Rundreise der Signale doppelt auf und die beobachtete Frequenzverschiebung  $\Delta\nu = 66$  MHz ist zu halbieren, will man die Laborfrequenz ermitteln:  $\Delta\nu_{1/2} = 33$  MHz. Damit ergeben sich gemäß Anleitung in Heft 4/2007 die beiden Gleichungen:

$$\frac{v_F}{v'_0} = 1 - \frac{v_F}{c} \quad (1a)$$

im Falle der vorhergesagten Flyby-Geschwindigkeit und

$$\frac{v_A}{v'_0} = 1 - \frac{v_A}{c} \quad (1b)$$

für die um die Anomalie erhöhte Geschwindigkeit. Bildet man nun mit Hilfe der Gleichungen (1a) und (1b) die Differenz

$\Delta\nu = v_A - v_F$ , so folgt:

$$\Delta\nu = c \frac{v_F - v_A}{v'_0}$$

bzw. mit  $\Delta\nu = v_A - v_F = 2 \Delta\nu_{1/2}$  und  $v_0 = \frac{1}{2} v'_0$ :

$$v_0 = c \frac{\Delta\nu_{1/2}}{\Delta\nu} = 2.3 \text{ GHz}$$

Die tatsächliche Frequenz des S-Band-Radiosenders an Bord von GALILEO beträgt 2.295 GHz. Damit liegt unser Ergebnis sehr nahe an der Realität.

**Aufgabe 2:** Die unverstandene Abbremsung  $a_p$  von PIONEER 10 und 11 ergibt sich zu:

$$a_p = \frac{\Delta v}{\Delta t} = 8.50 \cdot 10^{-7} \text{ mm/s}^2$$

Der Wert ist zwar recht klein, aber durch die gemessenen Daten dennoch zuverlässig bestimmt.

**Aufgabe 3:** Durch Gleichsetzen von heliozentrischer Bremsbeschleunigung und anomaler PIONEER-Beschleunigung, also  $a_\odot = G M_\odot / r^2 = a_p$ , folgt die gesuchte heliozentrische Distanz  $r$ , jenseits der die

anomale PIONEER-Beschleunigung überwiegt, zu:

$$r = \sqrt{\frac{GM}{a_p}} = 3.95 \cdot 10^{14} \text{ m} = 2641 \text{ AE}$$

Offenbar dominiert noch weit bis in den Kuiper-Gürtel hinein die Anziehungskraft der Sonne. AMQ

### Richtige Lösungen sandten ein:

Anette Anastasakis, D-69207 Sandhausen; Ulrike Neumann, D-59558 Lippstadt; Ulrike Saher, D-40629 Düsseldorf; Sieglinde Übermayer, A-2253 Weikendorf; N. Becker, D-61462 Königstein i. Ts.; W. Bernhardt, D-79737 Herrschried; W. Blendin, D-65597 Hünfelden-Kirberg; W. Christ, D-65824 Schwalbach; K. Clausecker, D-74219 Möckmühl; R.-R. Conrad, D-31275 Lehrte; J. Döblitz, D-70619 Stuttgart; H. Dschida, D-73660 Urbach; A. M. Dufter, D-83334 Inzell; H. Duran, CH-5300 Turgi; M. Ebert, D-85435 Erding; E. Edler v. Malyevacz, D-70825 Korntal-Münchingen; H. Eggers, D-31311 Uetze; P. Fischer, D-08223 Falkenstein; R. Fischer, D-50858 Köln; G. Forster, D-69120 Heidelberg; M. Geisel, D-79540 Lörrach; M. Gläsel, D-95445 Bayreuth; J. Glattkowski, D-76571 Gaggenau; H. Göbel, D-79540 Lörrach; J. Th. Grundmann, D-52068 Aachen; A. Güth, D-73078 Boll; R. Guse, D-31228 Peine; A. Haag, D-63110 Rodgau; R. Hagelweide, D-27726 Worpswede; J. Haller, D-51379 Leverkusen; J. Hampp, D-91056 Erlangen; D. Hauffe, D-60431 Frankfurt am Main; H. Hauser, D-89275 Elchingen; U. Hermann, D-89347 Bubesheim; S. Hetze, D-12057 Berlin; A. Heuser, D-53879 Euskirchen; F. Hofmann, D-01069 Dresden; J. Home, D-06844 Dessau; B. Hornisch, D-91238 Engelthal; N. Husmann, D-48155 Münster; B. Hußl, A-4542 Nußbach; Th. Inghoff, D-34355 Staufenberg; G. Junge, D-04600 Altenburg; H. Kamper, D-89520 Heidenheim; S. Kassam, D-60431 Frankfurt/M.; J. E. Keller, D-68775 Ketsch; L. Kirsch-

**Aufgabe 3:** Neueste Modellrechnungen von Diana Valencia, Richard J. O'Connell und Dimitar Sasselov (2006), alle in Cambridge, USA, stellen einen Zusammenhang zwischen Planetenradius und Planetenmasse her, den die Entdecker von Gliese 581 c für die Angabe in ihrer Pressemitteilung verwendet haben. Er lautet für den untersuchten Massenbereich von einer bis zehn Erdmassen:

$$R \propto M^{0.267-0.72} \quad (1)$$

Man bestimme den Radius  $R_{581c}$  von Gliese 581 c unter Verwendung des Wertes 0.27 für den Exponenten in Vielfachen der Erdmasse  $M_E$ . **Tipp:** Gleichung (1) gilt auch für unsere Erde.

**Aufgabe 4:** Man berechne die Oberflächenbeschleunigung  $a_{581c}$  in Vielfachen der Erdbeschleunigung  $g$ .

**Aufgabe 5:** Die Leuchtkraft von Gliese 581 ist  $L_{581} = 0.013 L_\odot$  (Sonnenleuchtkraft  $L_\odot = 3.846 \cdot 10^{26}$  W). Nimmt man an, der Planet befinde sich im Temperaturgleichgewicht, so strahlt er mit seiner Leuchtkraft  $L_{581c} = 4 \pi R_{581c}^2 \sigma T^4$ . Welche Temperaturen  $T_{1/2}$  lassen sich bei den beiden Albedos  $A_1 = 0.64$  (wie Venus) und  $A_2 = 0.35$  (wie Erde) erwarten? Die Stephan-Boltzmannsche Strahlungskonstante ist:  $\sigma = 5.6704 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ . **AMQ**

hock, D-92237 Sulzbach-Rosenberg; F.-G. Knell, D-63457 Hanau; K.-M. Köppl, D-47805 Krefeld; M. Kretzler, D-69259 Wilhelmsfeld; K.-H. Künkler, D-45279 Essen; H.-P. Lange, D-85376 Massenhausen; M. Leinweber, D-35435 Wettenberg; A. Leonhardt, D-90559 Burgthann; B. Leps, D-13507 Berlin; A. Lichtfuß, D-93161 Sinzing; R. Lühmann, D-78224 Singen; W. Mahl, D-71254 Ditzingen; P. Matzik, D-51399 Burscheid; N. Mayer, D-12205 Berlin; M. Mendl, D-85567 Grafing b. München; K. Mischke, D-71116 Gärtringen; F. Moser, D-47167 Duisburg; K. Motl, D-82538 Geretsried; S. Mrozek, D-25358 Horst; Chr. Netzel, D-52080 Aachen; B. Neuhaus, D-73432 Aalen; J. Nußbaum, D-80689 München; M. Otte, D-59558 Lippstadt; Chr. Overhaus, D-46325 Borken; G. Pannach, D-38124 Braunschweig; H.-P. Patjens, D-27299 Langwedel; M. Plambeck, D-21031 Hamburg; G. Portisch, D-75015 Bretten; U. Poschmann, D-52351 Düren; R. Prager, A-2230 Gänserndorf; H. Prange, D-57250 Netphen; B. Quednau, D-33397 Rietberg; F. Reinhardt, D-79539 Lörrach; E. Rössler, D-13503 Berlin; K. Rohe, D-85625 Glonn; A. Schäfer, D-71711 Steinheim/Murr; F. Schauer, D-79199 Kirchzarten; N. Scherer-Negenborn, D-76137 Karlsruhe; J. Schermer, D-12687 Berlin; R. H. Schertler, A-5280 Braunau am Inn; M. Schiffer, D-88662 Überlingen; B. Schmalfeldt, D-21521 Aumühle; R.-G. Schmidt, D-45657 Recklinghausen; G. Scholz, D-73457 Essingen; P. J. Schüngel, CH-8105 Regensdorf ZH; S. Schuler, D-66346 Püttlingen; M. Senkel, D-85614 Kirchseeon; R. Stahlbaum, D-38124 Braunschweig; K. Stampfer, D-86486 Bonstetten; A. Thiele, D-52066 Aachen; A. Trutschel-Stefan, D-83714 Miesbach; H.-G. Wefels, D-47239 Duisburg; S. Weiß, A-8010 Graz; H. Wember, D-22525 Hamburg; B. Wichert, D-21629 Neu-Wulmstorf; Chr. Wiedemair, I-39031 Bruneck, Südtirol; M. Ziegler, A-2460 Bruckneudorf; Chr. Zorn, D-70825 Korntal-Münchingen; W. Zumach, D-86163 Augsburg.

Insgesamt 105 Einsendungen, Fehlerquote: 0 %.

## Kreuzworträtsel

VON FRED GOYKE

|   |                                      |                               |                                       |                                      |  |
|---|--------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--|
| dänischer Astronom und NGC-Autor        | Komet, Starburst sammelte sein Staub | Neutronenstern                | Mondkrater südl. von Jules Verne      | Xi Cephei                            | Sternbild m. galakt. Nordpol (int. Abk.) |
|   |                                      | Mondlandprogramm              |                                       |                                      | Zeta Puppis                              |
| 1. Sternpopulation Sternhaufen i. Stier | Wellenfront korrigierende Optik      | Narr                          | chin. Raketenpionier (Tsienn... Shen) | Element in Braunstein (Symbol)       | berühmter amerik. Amateur-astronom       |
|   |                                      | Insel, Tycho-Brahe-Museum     |                                       | rus. Träger-rakete                   | Kfz.-Kennzeichen f. Dortmund             |
| Winkel-einheit                          |                                      | Spektro-graph am VLT          | Finstermis-zyklus von Sonne und Mond  |                                      | Satelliten-serie für d. Sonnen-forschung |
| Stern-schnuppe                          | Sternbild mit Azha (int. Abk.)       | Mondkrater nahe Kopernikus    |                                       | Länderkennz. für die Ukraine         | Observa-torium auf dem Mau-na Kea        |
|   |                                      |                               | griech. Himmels-gott                  |                                      |  |
| dt. Stadt mit den Coronelli-Globen      |                                      | Stern im Sternbild Wassermann |                                       | Kernpro-zess im Inneren eines Sterns |  |

Lösung des Kreuzwort-rätsels aus SuW 4/2007

T A D A  
M A G E L L A N S C H E  
R S L O W R A R  
T E V B N U N U D  
I S I D I S V X M M  
O N A D E L B A  
A L L T S A G A N  
T A I F U N C R T  
N E U N R E M U S E  
N Z O N D S E I L



**Kreuzworträtsel.** Die eingekreisten Buchstaben bilden ein Lösungswort. Unter allen, die dieses Lösungswort bis zum **15. Juni** auf einer **Postkarte** an die **Redaktion** einsenden, verlosen wir einen Satz Justierokulare im Wert von **95 €**, gestiftet von Fa. Astrocom, Martinsried.

*Viel Spaß beim Knobeln!*

Die Lösung des Kreuzworträtsels in Heft 4/2007 lautet: **Gravitationswellen**. Der glückliche Gewinner des Astrocom-Filtertschiebers (bei 94 richtigen und 9 falschen Einsendungen) ist: **Martin Otte**, Torfstich 18, D-59558 Lippstadt. *Herzlichen Glückwunsch! Red.*

### »Zum Nachdenken« im Web

Einige Tage vor der Auslieferung des gedruckten Heftes lässt sich das aktuelle »Zum Nachdenken« auf unserer Homepage [www.suw-online.de](http://www.suw-online.de) als PDF finden. Ältere Fassungen: → Heftarchiv → Jahr, bzw. Zurückliegende Ausgaben.

### Einsendungen

• Lösungen werden nur per Brief oder Fax akzeptiert, auf keinen Fall jedoch per E-Mail. • Die Redaktion empfiehlt, Namen und Anschrift immer auf dem Lösungsblatt zu notieren. • Lösungen, die nach dem angegebenen Stichtag eintreffen, können leider nicht berücksichtigt werden.

### Die 27. Runde

Mit der Aufgabe im Mai-Heft endete die 26. Runde *Zum Nachdenken*. Alle Löser mit wenigstens neun richtigen Einsendungen aus den zwölf bis inklusive Mai 2007 in »Zum Nachdenken« erschienenen Aufgaben werden bei der Verlosung berücksichtigt. Die Gewinner werden im Juli-Heft bekanntgegeben.

Mit diesem Heft startet die 27. Runde. Sie endet mit dem Mai-Heft 2008. Löser mit mindestens neun richtigen Einsendungen nehmen an der Preisverlosung teil. Zu gewinnen ist wieder ein attraktiver Hauptpreis. Viel Spaß beim Nachdenken und viel Erfolg beim Lösen! **AMQ**

### Hauptpreise der 26. Runde



Das Okularset **Baader-Hyperion** im Wert von **699 €** besteht aus sechs 68°-Weitwinkel-Okularen mit augenphysiologisch optimalem Gesichtsfeld in den Brennweiten: 3.5 mm, 5 mm, 8 mm, 13 mm, 17 mm und 21 mm, jeweils mit 1¼"- und 2"-Steckfassung, sowie zwei integrierten Systemgewinden zur Adaption des Okulars an fast jede digitale Kamera – dazu werden 16 verschiedene digitale T-Ringe optional angeboten. Gestiftet von Fa. Baader Planetarium. [www.baader-planetarium.de](http://www.baader-planetarium.de).

Das Fernglas **Mariner II** vom Typ 7×50 WP/II-CF im Wert von **189 €**, mit herausragenden optischen Eigenschaften, gestiftet von Fa. Fujinon (Europe) GmbH. [www.fujinon.de](http://www.fujinon.de).

