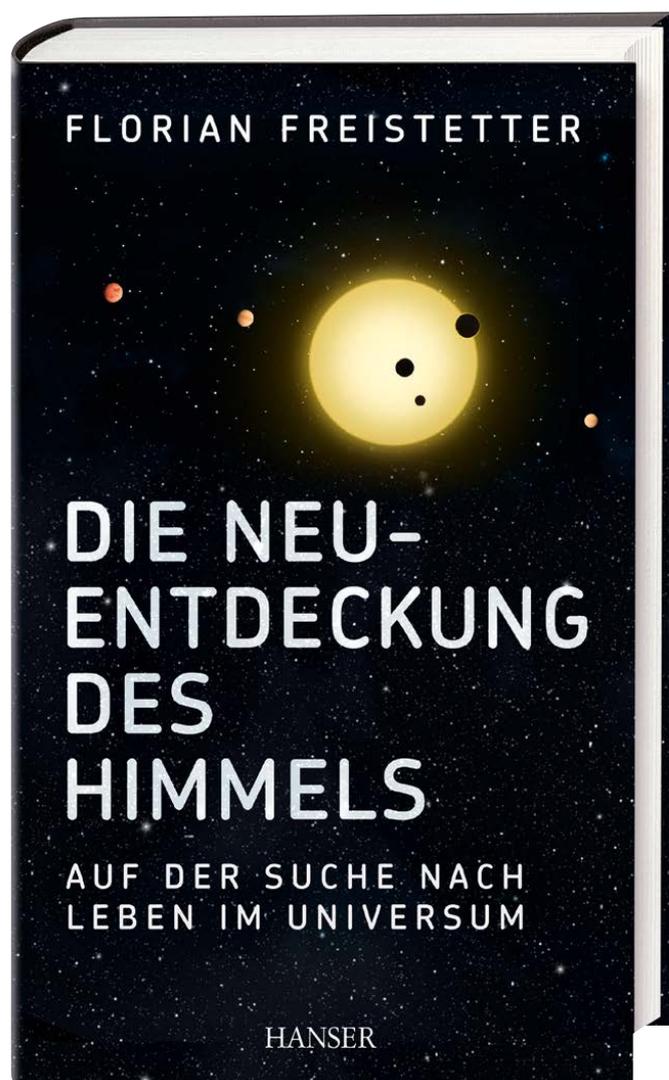


Leseprobe aus:

Florian Freistetter

Die Neuentdeckung des Himmels Auf der Suche nach dem Leben im Universum



Mehr Informationen zum Buch finden Sie auf  
[www.hanser-literaturverlage.de](http://www.hanser-literaturverlage.de)

© Carl Hanser Verlag München 2014

HANSER

Florian Freistetter

**Die Neuentdeckung des Himmels**



Florian Freistetter

# Die Neuentdeckung des Himmels

Auf der Suche nach Leben im Universum

HANSER



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches oder von Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

1 2 3 4 5 18 17 16 15 14

© 2014 Carl Hanser Verlag München

Internet: <http://www.hanser-literaturverlage.de>

Herstellung: Thomas Gerhardy

Umschlaggestaltung: Hauptmann & Kompanie Werbeagentur, Zürich,  
Dominic Wilhelm, unter Verwendung eines Fotos von © NASA

Satz: Kösel, Krugzell

Druck und Bindung: Friedrich Pustet, Regensburg

Printed in Germany

Bildnachweise:

Seite 14: [Astrolabium planisphaerium/© akg-images/bilwissedition](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Armillary_sphere.png)

Seite 86: [Engraving Of Astronomical Telescope/© Bettmann/CORBIS](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Armillary_sphere.png)

Seite 152: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Armillary\\_sphere.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Armillary_sphere.png)

Seite 190: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Star-Spectroscope.jpg>

ISBN 978-3-446-43878-1

E-Book-ISBN 978-3-446-43882-8

*Für Fabian.*

*Wir entdecken den Himmel noch gemeinsam.*



# Inhalt

Einleitung: Eine unendliche Geschichte 9

Teil I: Keine Planeten 15

Kapitel 1: Ist da draußen noch etwas?

Religion vs. Wissenschaft 15

Kapitel 2: Das Unsichtbare sehen 39

Kapitel 3: Was ist ein Planet? 53

Kapitel 4: Zu viel unsichtbares Sternenlicht 65

Exkurs: Aliens auf der Suche nach uns 79

Teil II: Komische Planeten 87

Kapitel 5: Echte Planeten und tote Sterne 87

Kapitel 6: Unmögliche Planeten im Regenbogen 107

Kapitel 7: Migration und Supererden 127

Exkurs: Die Technologie der Aliens 145

## INHALT

Teil III: Viele Planeten	153
Kapitel 8: Ab in den Weltraum	153
Kapitel 9: Ein Universum voller Planeten	169
Exkurs: Die Sonne wird interessant	183
Teil IV: Bewohnte Planeten	191
Kapitel 10: Die Suche nach der zweiten Erde	191
Kapitel 11: Wo sind die Aliens?	209
Kapitel 12: Kontakt – wie man mit Außerirdischen kommuniziert	227
Exkurs: Angriff der Aliens	243
Die Neuentdeckung des Himmels: Das letzte Kapitel?	247
Dank	251
Register	253

## Kapitel 7:

# Migration und Supererden

Der erste Planet außerhalb des Sonnensystems war gefunden. Die lange Zeit des Wartens war vorbei. Jetzt ging es Schlag auf Schlag. In den folgenden Monaten und Jahren fanden die Astronomen nicht nur eine Erklärung für die Existenz des unmöglichen Planeten von 51 Pegasi, sondern auch noch jede Menge neue Planeten. Im Jahr 1995 begann eine wissenschaftliche Revolution, die heute immer noch andauert.

Gleich nach der Entdeckung von 51 Pegasi begannen Geoffrey Marcy und Paul Butler ihre eigenen Daten zu analysieren. Seit acht Jahren hatten sie Messungen gesammelt, ohne sie auszuwerten. Nun hofften sie, dass sich in den alten Daten ein paar Planeten versteckten. Sie wurden schnell fündig. Anfang 1996 konnten sie die Entdeckung einer neuen Welt beim Stern 47 Ursae Majoris bekannt geben. Der Planet war mehr als doppelt so schwer wie Jupiter und umkreiste seinen Stern in einem Abstand von 2 astronomischen Einheiten; er war also doppelt so weit vom Stern entfernt wie die Erde von der Sonne. Kurz danach machten die beiden Amerikaner einen weiteren Fund beim Stern 70 Virginis. Der Planet, den

sie dort fanden, war gewaltig – die ersten Daten deuteten darauf hin, dass er mindestens 8 Mal so schwer war wie Jupiter! Trotzdem war er seinem Stern enorm nahe, der Abstand betrug nur eine halbe astronomische Einheit.

Die Entdeckung der beiden neuen Himmelskörper durch Marcy und Butler hatte drei wichtige Konsequenzen. Erstens: Der Planet bei 51 Pegasi war keine Ausnahme, so seltsam er den Astronomen am Anfang erschienen war. Zweitens: Da 51 Pegasi kein Sonderfall war, brauchte man nun wirklich bald eine vernünftige Erklärung für die Entstehung solcher Planeten. Und drittens: Wie groß und wie seltsam durfte ein Planet sein, um immer noch „Planet“ genannt werden zu können?

Der dritte Punkt führte direkt nach der Entdeckung des Planeten bei 70 Virginis zu großen Diskussionen unter den Astronomen. Dieser Himmelskörper war nicht nur größer als alles, was man bisher kannte; er befand sich auch auf einer Bahn, die nicht kreisförmig war, sondern stark elliptisch. Das waren eigentlich beides Anzeichen dafür, dass es sich nicht um einen Planeten, sondern um einen braunen Zwerg handelte.

Im Gegensatz zu den Planeten, die langsam aus kleinen Staubkörnern und Asteroiden heranwachsen, entstehen braune Zwerge durch den Kollaps einer großen Gaswolke. Wenn ein brauner Zwerg einen Stern umkreist, musste er auch gleichzeitig mit dem Stern entstanden sein. Während der Sternentstehung bildet sich in einer Gaswolke nicht immer nur ein einziger Klumpen, sondern oft gleich mehrere. Je nachdem, wie massereich sie sind, können solche Systeme aus zwei, drei oder mehr Sternen bestehen. Oder eben aus einem Stern und einem braunen Zwerg. Die Bahnen, auf denen sich Sterne in einem Doppelsternsystem umkreisen, können ohne weiteres stark elliptisch sein. Das Gleiche gilt für die Bahnen von braunen Zwergen, die einen Stern umkreisen. Die Planeten aber entstehen aus einer kreisförmigen Scheibe aus Gas und Staub, die einen jungen Stern umgibt.

Die Bestandteile der Scheibe kollidieren immer wieder miteinander und wachsen dabei nicht nur zu immer größeren Objekten an, sondern verlieren dabei auch Energie. Durch die Kollisionen werden ihre Bahnen also im Laufe der Zeit immer kreisförmiger, und am Ende entstehen Planeten, die sich ebenfalls auf kreisförmigen Bahnen bewegen.

Sehr massereiche Himmelskörper mit ovalen Umlaufbahnen können also keine Planeten sein, sondern nur braune Zwerge, meinte auch schon Shiv Kumar, der die Existenz der braunen Zwerge in den 1960er Jahren vorhergesagt hatte. Mit diesem Argument war man auch bereits 1989 der Entdeckung des amerikanischen Astronomen David Latham entgegengetreten. Er hatte einen Himmelskörper gefunden, der den Stern HD 114762 umkreiste. Die Messungen waren damals allerdings so ungenau, dass man nicht sagen konnte, wie schwer das Objekt war. Vermutlich war es ein sehr schwerer Planet, der ein Vielfaches der Jupitermasse auf die Waage brachte. Es konnte aber auch ein brauner Zwerg beziehungsweise sogar ein kleiner Stern sein. Da sich Lathams Objekt aber auf einer elliptischen Bahn bewegte, ging man davon aus, dass es sich um einen braunen Zwerg handeln musste.

Wenn nun also Marcy und Butler den schweren Himmelskörper, der 70 Virginis auf einer elliptischen Bahn umkreiste, als „Planeten“ bezeichneten, musste man fairerweise auch den Begleiter von HD 114762 als Planeten anerkennen. Damit wäre David Latham der Entdecker des ersten extrasolaren Planeten gewesen, und das ganze sieben Jahre, bevor Michel Mayor und Didier Queloz den Planeten von 51 Pegasi fanden.

Die späten 1990er Jahre waren eine aufregende Zeit in der Astronomie. Es war aber auch alles ein wenig konfus. Man fand immer mehr neue Planeten. Allein 1996 entdeckten die verschiedenen Gruppen noch vier weitere fremde Welten. Und eine war seltsamer als die andere. Zum Beispiel der Planet des Sterns 16 Cygni B, der von William Cochran und Artie

Hatzes von der Universität Texas gefunden wurde. Der Planet war nur doppelt so schwer wie Jupiter, hatte aber eine Bahn, die extrem elliptisch war. Nicht jeder Planet musste sich also zwingend auf einer kreisförmigen Bahn befinden: Es gab offensichtlich Ausnahmen.

Mit der Entdeckung der ersten echten extrasolaren Planeten betraten die Astronomen völliges Neuland. Alle Theorien basierten auf dem, was wir in unserer unmittelbaren Umgebung beobachten konnten. Die fremden Welten verhielten sich aber völlig anders, als wir es aus dem eigenen Sonnensystem gewohnt waren. Damit mussten die Astronomen erst einmal fertig werden. Hinzu kam ein verzerrender Effekt durch die Beobachtungstechnik selbst. Je größer ein Planet ist und je näher er sich an seinem Stern befindet, desto stärker ist die Variation in der Radialgeschwindigkeit, die er hervorruft. Vielleicht war das Universum voll mit ganz normalen Planeten, so wie sie in unserem Sonnensystem zu finden sind, und die seltsamen Objekte bei 51 Pegasi oder 70 Virginis waren nur Ausnahmen. Aber da die Instrumente der Astronomen in den 1990er Jahren nur gut genug waren, um die allerstärksten Radialgeschwindigkeitsvariationen zu messen, war man auf die Beobachtung dieser „Ausnahmen“ beschränkt. Wie die Welt der extrasolaren Planeten wirklich aussah, würde man erst wissen, wenn die Instrumente wesentlich besser geworden waren.

Immerhin gelang es den Astronomen, auf eine der neu aufgeworfenen Fragen eine Antwort zu finden: Wie konnten so große Planeten wie der bei 51 Pegasi in unmittelbarer Nähe ihres Sterns entstehen? Die Antwort lautete: Sie konnten es nicht.

Die Planeten entstanden dort, wo große Gasplaneten normalerweise entstehen müssen: weit entfernt vom Stern und hinter der Schneelinie. Aber die Planeten müssen nicht unbedingt dort bleiben, wo sie entstanden sind. Sie können sich nicht nur um den Stern herum bewegen, sondern unter den

richtigen Bedingungen auch quer durch das Sonnensystem hindurch. Und genau diese Bedingungen sind während der Entstehungsphase eines Planetensystems gegeben.

Denn in dieser Phase gab es ja nicht nur den Stern und die sich gerade bildenden Planeten, sondern immer noch jede Menge Gas und Staub aus der ursprünglichen protoplanetaren Scheibe. Wenn man wissen will, wie sich ein Planet um seinen Stern bewegt, darf man sich nicht auf die Gravitationskraft zwischen den großen Himmelskörpern beschränken, sondern muss auch den Einfluss berücksichtigen, den Gas und Staub ausüben können. Das hatte man früher nicht getan\* und deshalb ein grundlegendes Phänomen bei der Entstehung von Planeten übersehen: Planeten entfernen sich im Laufe der Zeit von ihrem Geburtsort.

Ist in der Nähe des Entstehungsorts noch ausreichend Gas vorhanden, wird es von der Gravitationskraft eines Planeten ein wenig durcheinander gewirbelt. In manchen Bereichen ist es nun dichter als anderswo, und diese „Dichtewellen“ beeinflussen wiederum die Bewegung des Planeten. Denn dort, wo das Gas dichter ist, kann es eine stärkere Gravitationskraft auf den Planeten ausüben. Dichtewellen gibt es sowohl auf der sternabgewandten als auch der sternzugewandten Seite des Planeten, aber da sich das Material näher am Stern schneller bewegt als weiter außen, sind die resultierenden Kräfte nicht gleich groß. Insgesamt ergibt sich eine Kraft, die den Planeten langsam bewegt, und zwar in den meisten Fällen auf den Stern zu.\*\*

---

\* Die Bewegung eines Planeten durch eine Scheibe aus Gas und Staub ausreichend genau zu simulieren, war früher auch gar nicht möglich. Erst neue Computer waren in der Lage, die dafür nötigen komplexen Berechnungen ausreichend schnell durchzuführen.

\*\* In welche Richtung sich der Planet genau bewegt, hängt von verschiedenen Faktoren ab, zum Beispiel davon, welche anderen Planeten noch vorhanden sind und wo sie sich befinden.

Der Planet wandert also langsam näher an den Stern heran. Diesen Vorgang nennt man „Migration“, und es gibt drei verschiedene Arten. Die oben beschriebene Wechselwirkung mit dem Gas ist eine „Typ-I-Migration“, sie läuft relativ schnell ab. Die Bewegung des Planeten durch das Planetensystem dauert nur ein paar Hunderttausend Jahre. Große Planeten (sie müssen ungefähr 10 Mal schwerer sein als die Erde) können die Migration aber auch wieder beenden. Sie ziehen das sie umgebende Gas an, bis im Laufe der Zeit eine große Lücke in der Gasscheibe entstanden ist. Nun stört nichts mehr die Bewegung des Planeten, seine Bahn verändert sich nicht mehr, die Migration endet. Allerdings nicht dauerhaft. Denn solange noch Gas und Staub im System vorhanden sind, gelangt immer wieder neues Material in die Lücke und startet eine neue Migration. Diese „Typ-II-Migration“ verläuft aber wesentlich langsamer und dauert länger. Sie endet erst, wenn sämtliches Gas aus dem System verschwunden oder der Planet bei seiner Wanderung dem Stern zu nahe gekommen ist. Dann wird er entweder vom Stern verschluckt oder er stoppt kurz davor. Denn auch der Stern verursacht in seiner Nähe eine Lücke in der protoplanetaren Scheibe, die die Migration stoppen kann.

Nach dieser Migrationsphase kann das Planetensystem völlig anders aussehen als vorher. Große Gasplaneten, die weit entfernt vom Stern entstanden sind, können ihn nun in extrem engen Bahnen umkreisen. Und natürlich gibt es im Lauf der Migration jede Menge Chaos und Katastrophen. Wenn ein Gasriese wie Jupiter von weit draußen bis ganz nach innen durch ein Planetensystem fegt, dann haben eventuell vorhandene kleinere Planeten kaum Überlebenschancen. Sie würden während der Migration zerstört oder aus dem System geworfen.

In unserem eigenen Sonnensystem gab es zum Glück keine so großen Migrationsbewegungen wie bei 51 Pegasi oder 70 Virginis. Die großen Planeten sind immer noch weit von der Sonne entfernt und haben die Erde und die anderen kleinen

Planeten in Ruhe gelassen. Aber auch bei uns ging es früher turbulenter zu. Denn auch wenn die Gas- und Staubscheibe am Ende der Planetenentstehung weitestgehend verschwunden ist, können die Himmelskörper noch ein wenig wandern.

Diese „Typ-III-Migration“ wird nicht mehr durch die protoplanetare Scheibe verursacht, sondern durch die Trümmerscheibe, die später im System entsteht (so eine Scheibe haben wir schon in Kapitel 4 beim Stern Beta Pictoris kennengelernt). Sie setzt sich aus den Asteroiden zusammen, die bei der Planetenentstehung übrig geblieben sind, auch die können die Bahn eines Planeten verändern. Die Trümmerscheibe des jungen Sonnensystems befand sich weit von der Sonne entfernt. Im inneren Bereich waren die Asteroiden alle für den Bau von Planeten verbraucht worden, aber weiter außen gab es noch jede Menge davon. Die großen Planeten – Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun – entstanden ursprünglich ein wenig näher an der Sonne. Direkt außerhalb der Bahn des letzten großen Planeten begann die Trümmerscheibe, und es kam immer wieder vor, dass der eine oder andere Asteroid dem äußersten Planeten zu nahe kam.

Die Gravitationskraft des großen Planeten veränderte die Bahn des kleinen Asteroiden stark und schleuderte ihn von der Trümmerscheibe weiter nach innen in das Sonnensystem. Dabei gibt es aber einen „Rückstoß“: Wenn der Planet einen Asteroiden in Richtung Sonne wirft, wird er dabei selbst ein wenig von der Sonne weggeschubst. Da der Asteroid sehr klein ist, ist dieser Schubs nur minimal, aber wenn im Laufe der Jahrtausende immer wieder neue Felsbrocken aus der Trümmerscheibe in die Nähe des Planeten kommen, führt das für ihn zu einer langsamen, aber stetigen Bewegung nach außen. Für die Asteroiden ist das Spiel aber noch nicht zu Ende. Nach innen geschleudert treffen sie auf den nächsten großen Planeten, bei dem genau der gleiche Prozess abläuft: Sie werden noch weiter ins Innere des Sonnensystems geworfen, und auch der zweite Planet wandert langsam nach außen.

Als Nächstes treffen sie auf Saturn, der sie weiter Richtung Jupiter schubst und dabei ebenfalls von der Sonne weg migriert. Jupiter schließlich macht dem Spiel ein Ende. Er ist der größte der Planeten, und mit seiner enormen Masse schmeißt er die Asteroiden ganz aus dem Sonnensystem raus. Der auf ihn wirkende Rückstoß richtet sich daher in die andere Richtung, und Jupiter wandert langsam auf die Sonne zu.

Dieses kosmische Billardspiel zwischen Asteroiden und Planeten dauerte ein paar Hundert Millionen Jahre lang. Während dieser Zeit veränderten sich die Bahnen der Planeten langsam, aber kontinuierlich. Uranus, Neptun und Saturn wanderten nach außen und Jupiter nach innen. Dann aber erreichten Saturn und Jupiter eine ganz besondere Position. Saturn hatte sich so weit von der Sonne entfernt, dass sein Umlauf genau doppelt so lange dauerte wie der von Jupiter. Astronomen nennen so etwas eine „Resonanz“ (in diesem Fall eine 2:1-Resonanz). Solche Resonanzen können dramatische Auswirkungen haben.

Normalerweise ändert sich die relative Position zwischen zwei Planeten ständig. Mal sind sie sich auf ihren Bahnen nahe, mal weiter entfernt voneinander. Mal stehen die beiden Planeten auf der gleichen Seite der Sonne, mal auf verschiedenen. Die zwischen ihnen wirkenden Gravitationskräfte, die ja unter anderem vom Abstand abhängen, sind also ebenfalls mal größer und mal kleiner. Es sei denn, es gibt eine Resonanz, so wie bei Jupiter und Saturn. Wenn Saturn einen Umlauf um die Sonne macht, macht Jupiter zwei. Nach einem Saturnumlauf beziehungsweise zwei Jupiterumläufen befinden sich die beiden Planeten also genau in der gleichen relativen Konfiguration wie zuvor. Die wirkenden Gravitationskräfte können sich nun im wahrsten Sinne des Wortes aufschaukeln. Auf einer Kinderschaukel reicht es auch aus, immer die gleiche Kraft aufzuwenden, wenn man sie zum richtigen Zeitpunkt einsetzt: Die Schaukel wird höher und höher schwingen. Genauso „stößt“ die Gravitationskraft des einen Plane-

ten den anderen in regelmäßigen Abständen in der richtigen Position an, und die Störungen werden immer größer. Die Bahnen von Jupiter und Saturn werden instabil; sie verlassen ihre bis dahin kreisförmigen Orbits und bewegen sich auf elliptischen Bahnen durch das äußere Sonnensystem. Dabei destabilisieren sie auch die Bahnen von Uranus und Neptun und verstreuen einen großen Teil der übrig gebliebenen Asteroiden der Trümmerscheibe in alle Richtungen.

Bis zu diesem Zeitpunkt hat die Erde vom Chaos im äußeren Sonnensystem wenig mitbekommen. Jetzt aber wird sie plötzlich von jeder Menge verstreuter Asteroiden bombardiert. Den anderen kleinen Planeten in der Nähe der Sonne geht es ähnlich. Diese von den Astronomen „Late Heavy Bombardement“ („spätes schweres Bombardement“) genannte Phase lässt sich heute noch durch geologische Untersuchungen nachvollziehen. Zählt man die Krater auf Erde und Mond und sortiert sie nach ihrem Alter, sieht man, dass es vor 4,1 bis 3,8 Milliarden Jahren deutlich mehr Asteroideneinschläge gab als davor beziehungsweise danach. Da die Planeten vor knapp 4,5 Milliarden Jahren entstanden sind, fand das Chaos im äußeren Sonnensystem also ungefähr 400 bis 700 Millionen Jahre statt, nachdem sie sich gebildet haben.

Nachdem dann fast alle Asteroiden der Trümmerscheibe zerstreut waren, beruhigte sich die Lage wieder. Die Planeten nahmen die Bahnen ein, die sie heute haben. Das Fazit der Migration: Jupiter war nur ein klein wenig auf die Sonne zu gewandert und befindet sich heute noch fast dort, wo er entstanden ist. Saturn war ein bisschen weiter nach außen migriert. Uranus und Neptun dagegen hatten eine längere Reise unternommen. Nicht nur, dass die beiden Planeten während der Migrationsphase ihre Plätze getauscht haben – man geht heute davon aus, dass Neptun ursprünglich näher an der Sonne entstand als Uranus –, sie befanden sich auch fast doppelt so weit von der Sonne entfernt wie vor der Migration. Und hinter der Neptunbahn finden wir noch heute den Kui-

per-Asteroidengürtel, den letzten Rest der ehemals großen Trümmerscheibe, die für das ganze Durcheinander verantwortlich war.\*

Die Entdeckung der ersten extrasolaren Planeten mit ihren seltsamen, unmöglich erscheinenden Bahnen verwirrte und schockierte die Astronomen anfangs. Aber sie lenkte ihre Aufmerksamkeit auf Vorgänge der Planetenentstehung, die man bisher noch nicht kannte. Wir haben gelernt, dass man dem ersten Eindruck nicht vertrauen darf. So wie ein Planetensystem *heute* aussieht, muss es nicht auch früher ausgesehen haben. Planeten wie die von 51 Pegasi, 16 Cygni B oder 70 Virginis mochten seltsam erscheinen.\*\* Aber das lag nur an der beschränkten Sicht auf das Universum, die bis dahin zwangsläufig von dem dominiert war, was man in unmittelbarer Umgebung sehen konnte. Nun wusste man, dass Planeten auch völlig anders aussehen können.

Der Blick auf die ersten fremden Welten hat uns dabei geholfen, unsere eigene Welt besser zu verstehen. Doch die Erforschung der extrasolaren Planeten stand erst am Anfang. Es gab noch viel fremdere Welten zu entdecken. Dafür brauchte man aber neue Methoden. Bis zum Jahr 2000 war man bei der Planetensuche nur mit der Radialgeschwindigkeitsmessung erfolgreich. Um das Wackeln eines Sterns direkt am Himmel zu beobachten, reichte die Genauigkeit der Geräte immer noch nicht aus. Aber ein Planet macht sich noch auf andere Arten bemerkbar. Er bringt den Stern nicht nur zum Wackeln, sondern auch zum Blinken.

---

\* Es gibt sogar Computersimulationen, die darauf hindeuten, dass sich früher noch ein fünfter Gasplanet im äußeren Sonnensystem befand, der während der turbulenten Migrationsphase komplett aus dem System geworfen wurde.

\*\* In den folgenden Jahren zeigten bessere Messungen dann auch, dass die Planeten von 70 Virginis und HD 114762 tatsächlich Planeten waren. Zwar sehr massereiche und seltsame Planeten, aber doch eindeutig Planeten. Da die Beobachtungen von David Latham aus dem Jahr 1989 aber zu ungenau waren, um damals schon entscheiden zu können, ob es sich um einen Planeten oder einen braunen Zwerg handelt, gelten Mayor und Queloz weiterhin als die Entdecker des ersten extrasolaren Planeten, der einen normalen Stern umkreist.

Der Grund dafür ist simpel: Wenn der Planet auf seinem Weg um den Stern unsere Sichtlinie kreuzt, blockiert er ein klein wenig von dem Licht, das uns erreicht. Ein Planet wie der von 51 Pegasi, der 4,2 Tage für einen Umlauf braucht, wird den Stern also auch alle 4,2 Tage verdunkeln. Dieses Ereignis nennt man „planetarer Transit“, aber das Problem an der Sache ist wieder einmal die Geometrie. Genauso wie man die exakte Masse eines Planeten nicht bestimmen kann, ohne zu wissen, unter welchem Winkel man auf das System blickt, kann man auch nicht im Vorhinein wissen, ob ein Planet unsere Sichtlinie auch wirklich kreuzt und ein Transit stattfindet. Blicken wir genau von „oben“ auf die Umlaufbahn eines Himmelskörpers, wird er von uns aus gesehen niemals direkt vor dem Stern selbst vorüberziehen. Das passiert nur, wenn wir fast exakt auf die Kante des Planetensystems blicken. Nicht jeder Stern, der von Planeten umgeben ist, wird also in unseren Teleskopen auch blinken. Und selbst wenn die Konfiguration eine sichtbare Verdunkelung erlaubt, folgt daraus noch lange nicht, dass wir sie auch sehen können. Sterne sind groß und Planeten klein. Sie können nur einen winzigen Teil des Lichts blockieren. Jupiter zum Beispiel ist zwar der größte Planet in unserem Sonnensystem, aber sein Durchmesser ist zehnmal kleiner als der der Sonne. Sein Querschnitt ist sogar hundertmal kleiner (da die Fläche eines Kreises sich aus dem Quadrat des Durchmessers berechnet). Wenn Jupiter direkt vor der Sonne steht, blockiert er nur ein Hundertstel, also ein Prozent ihres Lichts. Das ist wenig, aber messbar, und die neuen Planeten schienen den Astronomen für diese Art der Messung besonders geeignet. Denn im Gegensatz zu Jupiter, der zwölf Jahre für einen Umlauf braucht, umkreisen sie ihren Stern in wenigen Tagen oder Wochen. Dementsprechend schnell erfolgt auch die regelmäßige Verdunkelung des Sternenlichts.

Natürlich probierte man diese Methode zuerst bei den Sternen aus, bei denen man schon wusste, dass sie von Planeten

umkreist werden. Rein statistisch sollte nur bei etwa 5 bis 10 Prozent der Blickwinkel günstig und eine Verdunkelung durch den Planeten sichtbar sein. Bei den meisten blieben die Messungen tatsächlich ohne Resultat, da man offensichtlich unter dem falschen Winkel auf die Umlaufbahn des Planeten blickte. 1999 jedoch war der Doktorand David Charbonneau von der Harvard-Universität erfolgreich. Gemeinsam mit seinen Kollegen Timothy Brown, David Latham und Michel Mayor, dem Entdecker des Planeten von 51 Pegasi, gelang es ihm, eine periodische Verdunkelung des Sterns HD 209458 zu beobachten.\* Dass es diesen Planeten gab, wusste man dank Messungen der Radialgeschwindigkeit schon vorher; es war also keine echte Entdeckung mit der neuen Methode gelungen. Aber diese erste Beobachtung eines Transits war trotzdem ein wichtiger Schritt bei der Erforschung der extrasolaren Planeten.

Man wusste nun, dass die Methode funktioniert. Charbonneau konnte eine Verdunkelung des Sternenlichts um 1,6 Prozent messen, die alle 3,5 Tage stattfand. Das stimmte genau mit der schon bekannten Umlaufzeit des Planeten überein. Man hatte das erste Mal unabhängig voneinander und mit zwei verschiedenen Methoden die Existenz eines Planeten bestätigt. Außerdem kannte man nun auch die Masse des Planeten genau. Da ein Transit zu sehen war, musste man genau auf die Kante des Planetensystems blicken und kannte so den Sichtwinkel. Mit den Daten aus der Radialgeschwindigkeitsmessung ließ sich die Masse exakt berechnen: 0,71 Jupitermassen. Natürlich wollte man die Methode nicht mehr nur zur Bestätigung schon bekannter Planeten einsetzen, sondern ganz neue fremde Welten damit finden. Es dauerte allerdings drei Jahre, bevor dies gelang.

Das OGLE-Projekt (Optical Gravitational Lensing Experi-

---

\* Gleichzeitig, aber unabhängig von Charbonneau konnten auch Gregory Henry und seine Kollegen von der Universität Tennessee den Transit beobachten.

ment) der Sternwarte der Universität Warschau in Polen hatte eigentlich ein ganz anderes Ziel. Man war auf der Suche nach sogenannten „Gravitationslinsen“ (siehe Kapitel 9), musste dafür aber die Helligkeit von Sternen möglichst genau messen. Während dieser Arbeit fand das OGLE-Team knapp 60 Sterne, die auf die „richtige“ Art und Weise zu blinken schienen. Das bedeutete aber nicht, dass man nun auch 60 neue Planeten entdeckt hatte, denn Sterne können auch noch aus anderen Gründen ihre Helligkeit verändern. Ein Stern, der einen anderen Stern in einem Doppelsternsystem umkreist, kann zum Beispiel durch unserer Sichtlinie ziehen und einen Helligkeitsabfall verursachen. Ist der Stern sehr klein, kann es aussehen wie der Transit eines Planeten. Auch drei große Sterne können einen Transit simulieren, wenn sie so nahe beieinander stehen, dass sie im Teleskop nur als einzelner Punkt zu sehen sind: Wenn ein Stern aus unserer Sicht den anderen bedeckt, ist der Abfall in der Helligkeit zwar viel größer als bei einem Planeten, der nahe dritte Stern kann das mit seinem Licht aber wieder ausgleichen. Ein Stern kann auch große Sternflecken besitzen, die immer wieder in unser Sichtfeld geraten, während er sich um seine eigene Achse dreht, was ebenfalls zu einer kleinen Verdunkelung führt. Es gibt viele Ursachen, die einen Stern regelmäßig blinken lassen, die Existenz eines Planeten ist nur eine davon. Man muss jeden potenziellen Fall im Detail prüfen. Genau das taten die Astronomen nun.

Das OGLE-Team veröffentlichte seine Liste der blinkenden Sterne und stellte die Daten ins Internet. In der Hoffnung, nun endlich den ersten extrasolaren Planeten mit der Transitmethode zu entdecken, machten sich verschiedene Arbeitsgruppen überall auf der Welt daran, die Sterne zu überprüfen. Bei genauerer Betrachtung zeigte sich allerdings, dass so gut wie keiner der Kandidaten Planeten zu haben schien. Ein Stern nach dem anderen wurde von der Liste gestrichen.

Gegen Ende des Jahres 2002 war kaum noch ein Stern auf der OGLE-Liste übrig. Dann war ein Team um Maciej Konacki vom Californian Institute of Technology aber endlich erfolgreich. Das regelmäßige Blinken des Sterns mit der Bezeichnung OGLE-TR-56 im Sternbild Schütze wurde tatsächlich von einem Planeten verursacht. Es war nicht nur der erste Planet, der mit der neuen Methode entdeckt wurde, sondern auch noch ein ganz besonders seltsamer. Zum damaligen Zeitpunkt war es der Planet, der seinem Stern am nächsten war. Der Abstand betrug nur 0,02 astronomische Einheiten beziehungsweise knapp drei Millionen Kilometer. Trotzdem war der Planet größer als Jupiter. So nah an seinem Stern war er auch der heißeste damals bekannte Planet mit einer Oberflächentemperatur von ungefähr 2000 Grad. Und es war der Planet, der von allen damals bekannten am weitesten von der Erde entfernt war: 5000 Lichtjahre.

Die erste Entdeckung eines extrasolaren Planeten mit der Transitmethode hatte wieder einmal bestätigt, wie seltsam und fremd die neuen Welten sein konnten. Aus unserem Sonnensystem kannten wir nur zwei grundlegende Arten von Planeten: die kleinen, felsigen und erdähnlichen Planeten mit fester Oberfläche, die sich im inneren Teil des Planetensystems befanden, und die großen und kalten Gasplaneten, die weit entfernt von der Sonne ihre Runden zogen. Die fremden Welten der anderen Sterne passten aber nicht in dieses Schema. Hier gab es Gasriesen, die sich in unmittelbarer Nähe ihres Sterns aufhielten; Planeten wie Jupiter, auf denen enorm hohe Temperaturen herrschten. Man nannte diese neue Klasse von Planeten daher „Hot Jupiters“ und versuchte in den folgenden Jahren mehr über sie herauszufinden. Waren die Hot Jupiters nur eine Anomalie, nur ein paar seltsame Freaks im Universum, die wir aufgrund unserer Beobachtungsmethoden einfach nur als Erstes entdeckt hatten? Oder war vielleicht unser eigenes Sonnensystem die Ausnahme und die heißen Jupiter der Normalfall?

Man brauchte mehr Daten, musste mehr Planeten finden. Zum Glück hatte man die Methoden nun einigermaßen im Griff, und die Entdeckungen kamen am laufenden Band. In den ersten Jahren war noch jeder neu gefundene Exoplanet eine Sensation und wurde in den Büros der Astronomen überall auf der Welt heiß diskutiert. Dann begann sich die Lage zu normalisieren. 1998 waren es 8 Planeten, die entdeckt wurden, insgesamt kannte man nun schon 15. Im Jahr 2000 fanden Astronomen 19 neue Planeten und erhöhten die Zahl der bekannten extrasolaren Planeten auf 45. Zwei Jahre später wurde jede zweite Woche ein neuer Fund verkündet, am Ende des Jahres hatte man 30 zusätzliche Planeten gefunden und kannte nun insgesamt 88. Im Jahr 2003 stieg die Zahl der bekannten Planeten auf über 100, neue Entdeckungen gab es nun fast täglich.

Je besser die Geräte im Laufe der Zeit wurden, desto kleiner wurden auch die Planeten, die man damit finden konnte. Beim Großteil der entdeckten Himmelskörper handelte es sich zwar immer noch um jupiterähnliche Gasriesen, die ihren Stern in kurzer Distanz umkreisten. 2002 wurde jedoch der erste Planet entdeckt, der nur noch ein Zehntel der Jupitermasse hatte und damit mehr dem kleineren Neptun ähnelte als den Hot Jupiters.

Neptun ist zwanzigmal leichter als Jupiter und damit der drittschwerste Planet im Sonnensystem. Uranus, sein Nachbar, ist nur ein klein wenig leichter. Der fünftschwerste Planet ist dann schon unsere Erde, die nur noch ein Dreihundertstel der Jupitermasse hat. Zwischen der Masse von Uranus und der Erde klafft aber eine große Lücke: Uranus ist 15 Mal schwerer als die Erde. Früher hatte man sich darüber wenig Gedanken gemacht. Es gab eben große und kleine Planeten. Aber bei all den neu entdeckten und äußerst seltsamen fremden Welten lag die Frage nahe, ob es anderswo im Universum vielleicht auch Planeten gab, die diese Lücke füllten. Gibt es Planeten, die kleiner als die Gasriesen waren, aber trotzdem

größer als die Erde? Gibt es irgendwo dort draußen eine „Supererde“?<sup>\*</sup>

Was die Planetenentstehung angeht, spricht nichts dagegen, dass es solche Himmelskörper geben kann. Solange ein Planet weniger als ungefähr die 10-fache Masse der Erde hat, ist er nicht in der Lage, die leicht flüchtigen Gase wie Wasserstoff und Helium festzuhalten, und er wird sich nicht zu einem Gasplaneten wie Neptun oder Jupiter entwickeln, sondern ein felsiger, erdähnlicher Himmelskörper wie die Erde bleiben. Äußerlich kann sich so eine Supererde aber massiv von unserem eigenen Planeten unterscheiden. Dank der größeren Masse fällt es solchen Planeten zum Beispiel leichter, bei der Entstehung mehr Eis an sich zu binden und später mehr Wasserdampf in der Atmosphäre festzuhalten. Der Anteil an Wasser könnte bei einer Supererde also wesentlich größer sein als bei der Erde. Unser Planet ist zwar zu mehr als zwei Dritteln von Wasser bedeckt; der Anteil des Wassers an der Gesamtmasse macht aber nur 0,02 Prozent aus. Eine Supererde könnte zu 10 Prozent aus Wasser bestehen und sich zu einem „Ozeanplaneten“ entwickeln.<sup>\*\*</sup> Dieser Planet wäre komplett von einem Ozean bedeckt, der sich aber nicht mit unseren Meeren vergleichen ließe. Wir müssen auf der Erde nur ein paar Kilometer unter die Wasseroberfläche tauchen, um den festen Ozeanboden zu erreichen. Das Wasser ist auf der Erde nur ein dünner Film, der ihre felsige Oberfläche benetzt. Die Meere eines Ozeanplaneten haben keinen Grund. Sie können bis zu hundert Kilometer tief sein, und selbst dann trifft man nicht auf einen Meeresboden aus Gestein, sondern auf heißes, festes Wasser.

---

\* Eine „Supererde“ ist übrigens natürlich nicht unbedingt „toller“ oder „besser“ als unsere Erde. Das lateinische Präfix „super“ bedeutet einfach nur „über“, und eine Supererde ist eine „überschwere Erde“ bzw. „Übererde“.

\*\* Einige Astronomen sind allerdings der Meinung, dass eine Supererde gar keinen Ozean haben könne, weil der schwere Planetenkern während seiner Entstehung schon zu viel Gas angezogen hat. Er wäre dann ein kleiner Gasplanet, auf dem wegen des hohen Drucks keine Ozeane existieren können.

Wir auf der Erde kennen festes Wasser nur als Eis, das entsteht, wenn es kalt genug ist. Auf den Supererden könnte es aber auch „heißes Eis“ geben. Der gewaltige Druck, den der hundert Kilometer tiefe Ozean auf das Wasser darunter ausübt, presst die Wassermoleküle so stark zusammen, dass auch hier eine feste, kristalline Struktur entsteht, die aber nicht nur beim Gefrierpunkt existiert, sondern 1000 Grad heiß ist.\* Noch weiter unten geht dieser Mantel aus heißem Eis dann in einen normalen Gesteinsmantel über, der den für erdähnliche Planeten typischen Metallkern umgibt.

Eine gigantische Ozeanwelt, die aus Wasser und heißem Eis besteht, klingt nach einem guten Schauplatz für Science-Fiction-Stories. Die Astronomen wollten aber wissen, ob es solche Welten auch in der Realität gibt. Im Jahr 2005 wurde man schließlich fündig.\*\* Schon 1998 hatte Geoffrey Marcy beim roten Zwergstern Gliese 876 einen Planeten mit ungefähr der doppelten Jupitermasse gefunden. 2001 entdeckte man dort noch einen zweiten Gasriesen, der ein klein wenig leichter war als Jupiter. 2005 schließlich fand man einen dritten Planeten, der sich noch näher am Stern befand als die beiden Gasplaneten. Der „Gliese 876d“ genannte Planet ist seinem Stern so nahe, dass er nur zwei Tage für eine Umrundung braucht. Diese Nähe sorgt auf seiner Oberfläche für Temperaturen von über 3000 Grad. Er war der bis zu dem Zeitpunkt kleinste Planet. Er war nur knapp sieben Mal schwerer als die Erde. Er war eine Supererde!

Vermutlich. Denn mehr als die Masse ließ sich über den Pla-

---

\* Eis dieser Art kommt auf der Erde nicht vor und konnte bis jetzt nur experimentell für wenige Sekundenbruchteile in einem Labor erzeugt werden.

\*\* Eigentlich könnte man auch die schon 1993 entdeckten Pulsarplaneten (siehe Kapitel 5) zu den Supererden zählen, denn sie haben beide die ungefähr 4-fache Masse der Erde. Da aber noch niemand sicher weiß, wie diese seltsamen Planeten entstanden sind und aus welchem Material sie bestehen, werden sie meistens nicht berücksichtigt. Manche Forscher vermuten, dass die Pulsarplaneten einfach nur gigantische Kugeln aus Eisen und anderen schweren Metallen sein könnten, da diese schweren Elemente den Tod des Sterns am ehesten überlebt haben könnten.

neten vorerst nicht herausfinden. Man war sich nicht einmal absolut sicher, dass es sich bei Gliese 876d tatsächlich um einen erdähnlichen Planeten mit fester Oberfläche handelte. Vielleicht war es auch einfach nur der Überrest eines Gasriesen, der bei seiner Migration dem Stern zu nahe gekommen war. Die starke Strahlung des Sterns hätte dann die äußeren Gasschichten des Planeten weggepustet, so dass am Ende nur ein kleiner Rest übrig geblieben war. Keine Supererde also, sondern eher ein Mini-Jupiter.

Das gleiche Problem hatte man auch mit den anderen potenziellen Supererden, die in den nächsten Jahren gefunden wurden. Ende 2006 hatte man schon mehr als 200 extrasolare Planeten entdeckt. Die Frage nach der Existenz der fremden Welten war eindeutig geklärt. Aber man hatte nur sehr vage Vorstellungen davon, wie diese Welten tatsächlich aussehen. Man wusste nicht, welche Bedingungen dort herrschten, und vor allem immer noch nicht, ob unser Sonnensystem mit seiner Mischung aus großen und kleinen Planeten einzigartig ist oder nicht. Man hatte zwar schon eine Handvoll potenzieller Supererden gefunden, wusste aber nicht, ob sie eine feste Oberfläche hatten und wirklich erdähnlich waren. Man wusste nicht, wie häufig die Supererden waren. Man wusste nicht, ob es da draußen noch kleinere Planeten gab. Man wusste nicht, ob irgendwo eine „zweite Erde“ existierte oder ob unser Planet einzigartig ist. Man wusste noch zu viele Dinge nicht, und es war an der Zeit, das zu ändern. Durch neue Wege bei der Erforschung der extrasolaren Planeten. Durch die Verlegung der Suche in den Welt-  
raum.