

Seit zwei Jahren verfügt das Max-Planck-Institut für Astronomie in Heidelberg über eine neue Abteilung, in der Forschende die Atmosphären von extrasolaren Planeten untersuchen. Ihre junge Direktorin Laura Kreidberg hat mit aufsehenerregenden Beobachtungen von sich reden gemacht und gehört zu den Glücklichen, die mit dem neuen James-Webb-Weltraumteleskop beobachten werden.

TEXT: THOMAS BÜHRKE

46

Als neue Direktorin an ein renommiertes Max-Planck-Institut berufen zu werden, ist eine große Ehre. Doch geschieht dies in Zeiten des Corona-Lockdowns, kann sich ein solcher Schritt als unerwartete Herausforderung erweisen. So geschah es Laura Kreidberg, als sie im Juni 2020 nach Heidelberg kommen wollte. „Schwierig war vor allem die Vorbereitung“, sagt die junge Amerikanerin, „aber glücklicherweise erhielten wir in dieser Zeit sehr viel Hilfe vom Institut.“

Der Verwaltungsleiter besichtigte für sie Wohnungen, der geschäftsführende Direktor schrieb unter anderem ein formelles Dokument, in dem er Kreidbergs Anreise mit einem der wenigen Transatlantikflüge begründete. „Es war anstrengend, aber wir haben es geschafft!“ Mit „wir“ meint die Wissenschaftlerin auch ihren Ehemann, der in Deutschland dank seines Arbeitsgebiets im Bereich Datenwissenschaften rasch eine Anstellung bei einem Start-up-Unternehmen fand. Zwar in Berlin, aber Homeoffice ist wegen Corona mittlerweile Standard. Zum Zeitpunkt ihrer Berufung war Laura Kreidberg gerade einmal dreißig Jahre alt und damit eine der jüngsten Direktorinnen in der Geschichte der Max-Planck-Gesellschaft. Mit ihrem Forschungsfeld „Atmosphärenphysik der Exoplaneten“ schließt sie nahtlos an den Bereich

„Planeten- und Sternentstehung“ an, in dem sich schon seit Langem ein Schwerpunkt auf der Entdeckung und Untersuchung extrasolarer Planeten herauskristallisiert hat. Seit dem spektakulären Fund des ersten Planeten bei einem fernen Stern im Jahr 1995 hat sich kaum ein anderes Gebiet in der astronomischen Forschung so rasant entwickelt wie dieses. Bis heute sind rund 5000 Exoplaneten bekannt.

Die Vielfalt dieser teils sehr exotischen Körper hat die Fachleute überrascht. Es gibt über 1000 Grad heiße Gasplaneten, von denen einige ihrer Zentralsonne so nahe sind, dass sie geradezu verdampfen. Andere sind aus Gestein und vielleicht der Erde ähnlich. Wie genau diese fernen Welten beschaffen sind, welche Temperatur auf ihnen herrscht oder ob sie eine Atmosphäre besitzen und vielleicht das Entstehen von Leben ermöglichen – das sind die Fragen, die Laura Kreidberg faszinieren, ja sie überhaupt zum Astronomiestudium gebracht haben. Denn anders als bei so manchem Kollegen stand bei ihr am Anfang kein Fernrohr, mit dem sie fasziniert den Sternenhimmel beobachtete. „Tatsächlich habe ich bis heute nur ganz selten durch ein Teleskop geschaut“, gesteht sie, und mit den Sternbildern kennt sie sich auch nicht gut aus. „Wenn mich jemand fragt, wo am Himmel sich dieser oder jener Planet befindet, den ich untersucht habe, dann kann ich nur mit den Schultern zucken.“

Aufgewachsen ist die Forscherin in der mittelgroßen Stadt Reno im US-Bundesstaat Nevada, die am ehesten für ihre Spielcasinos bekannt ist. Die Nähe zur Sierra Nevada und zum Lake Tahoe lädt jedoch zu Wanderungen ein – eine Leidenschaft, der Kreidberg bis heute frönt. Auf der Highschool begann sie sich für Physik zu interessieren, weil

→

# BESUCH BEI

---

LAURA  
KREIDBERG



FOTO: ANNA ZIEGLER FÜR MPG

47

Diffiziles Schattenspiel: Zieht ein kleiner Himmelskörper vor seiner Muttersonne vorüber, verdeckt er einen winzigen Teil von deren Oberfläche. Aus der daraus resultierenden Abnahme der Sternhelligkeit lässt sich auf die Existenz eines solchen Exoplaneten schließen. Laura Kreidberg, Direktorin am Max-Planck-Institut für Astronomie, erforscht die geologischen Eigenschaften und Atmosphären dieser Objekte.

sie in diesem Fach „nicht so viele Details lernen musste wie zum Beispiel in Biologie“. Hin und wieder nahm sie an Science Bowls teil, einer Art von wissenschaftlichen Wettbewerben.

In ihrer Familie hatten die Naturwissenschaften zwar keine Tradition, aber populärwissenschaftliche Astronomiebücher ihres Vaters inspirierten sie als Kind zu den wirklich großen Fragen. „Ich erinnere mich, wie ich meine Mutter fragte, wo der Rand des Universums sei“, sagt sie. Auch Bücher von Stephen Hawking und Brian Greene faszinierten sie ungemein, öffneten sie doch den Blick auf ein ebenso geheimnisvolles wie unermessliches Universum. Der stark an der klassischen Physik ausgerichtete Unterricht langweilte und frustrierte sie bald, als ein weiterer Zufall sie in Richtung Astronomie lenkte: Sie wurde auf die Arbeit

sammensetzung der Atmosphäre und das Klima auf einem fernen Planeten zu erforschen, stellt höchste Ansprüche an die Beobachtungstechnik, was mich sehr faszinierte“, erinnert sie sich. „Mir war klar, dass diese Aufgabe das Potenzial hat, mich bis ans Ende meiner Karriere zu fesseln.“

Im Rahmen ihrer Doktorarbeit an der University of Chicago stürzte sich Laura Kreidberg auf das Thema und beobachtete mit dem Weltraumteleskop Hubble einen Planeten, der einen 48 Lichtjahre entfernten Stern namens Gliese 1214 umkreist. Bei diesem Körper mit der Bezeichnung Gliese 1214 b handelt es sich um eine sogenannte Supererde – eine Art von Planeten, die es in unserem Sonnensystem nicht gibt. Gliese 1214 b ist siebenfach schwerer und fast dreifach größer als die Erde, aber kleiner als Neptun.

## „Wir haben sogar schon Planeten gesehen, die um zwei Sterne kreisen, wie Tatooine in *Star Wars*.“

48

ten von Nate Silver aufmerksam – ein Journalist, der mit statistischen Methoden die Ergebnisse von Baseballspielen analysierte und diese Technik später auch auf Präsidentschaftswahlen anwendete. „Ich fand heraus, dass man mit diesen Methoden auch bestimmte Fragen der Astronomie behandeln kann“, so Kreidberg. „Das habe ich dann in meiner Bachelorarbeit getan, in der es um die Massen von schwarzen Löchern ging.“

In dieser Zeit an der Yale University suchte sie nach einem Thema für ihre Doktorarbeit und wurde dabei auch auf Exoplaneten aufmerksam. Diese waren damals sehr populär, doch der Funke sprang zunächst nicht über. Kreidberg war sich nicht sicher, ob diese Forschungsrichtung nicht ein kurzlebiger Trend sei. Ständig wurden neue Körper entdeckt, aber man kannte von ihnen kaum mehr als die Massen und die Abstände zu ihren Zentralsternen.

Dann erfuhr sie davon, dass jemand erstmals die Atmosphäre eines Exoplaneten untersucht hatte. Das war ihr persönliches Aha-Erlebnis. „Die Zu-

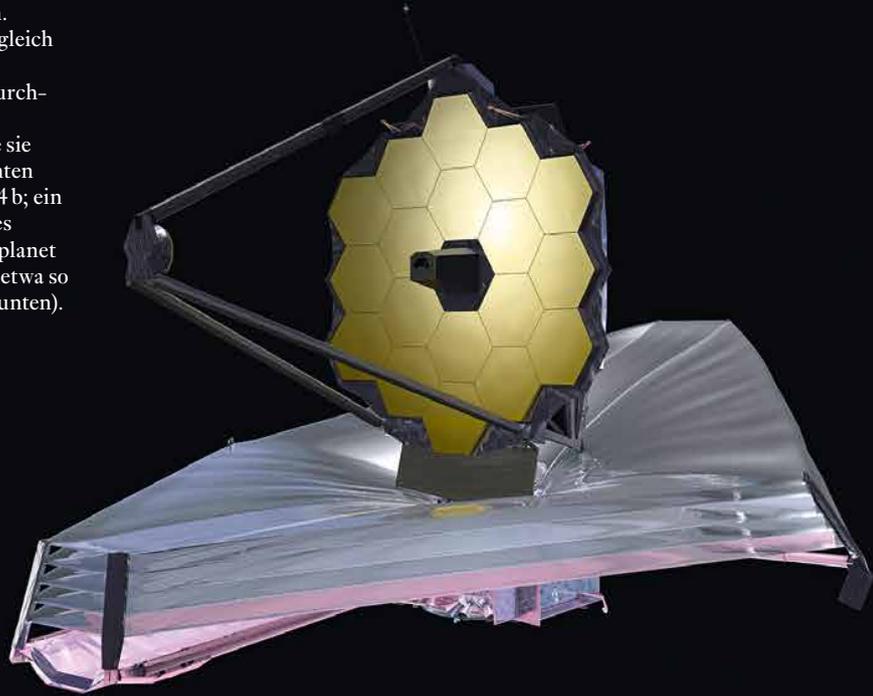
Schon zuvor hatten Astronomen versucht, die Atmosphäre von Gliese 1214 b zu analysieren – ohne eindeutiges Ergebnis. Eine Vermutung war, dass die Gashülle überwiegend aus Wasserdampf besteht, weshalb auch der Planet zu einem großen Teil oder ganz von Wasser bedeckt sein könnte – ein Ozeanplanet also. Die neuen Beobachtungsdaten von Kreidberg und Kollegen schlossen dieses Szenario aber weitgehend aus. Die Atmosphäre muss von dichten Wolken bedeckt sein, so der Schluss.

Es folgten Beobachtungen weiterer Exoplaneten, die ein ums andere Mal deren Vielfalt verdeutlichten. In unserem Sonnensystem gibt es die inneren, terrestrischen Gesteinsplaneten und jenseits des Asteroidengürtels die Gasriesen. Die meisten anderen Sonnensysteme sehen nicht so aus. Es existieren viele Planeten, die so nahe um ihre Zentralsterne kreisen, dass ihre Atmosphäre verdampft oder das Gestein zu Lava schmilzt. Im Fall eines extrem heißen Gasplaneten ließen sich Wolken nachweisen, die hauptsächlich aus Metallen wie Eisen, Magnesium, Chrom und Vanadium bestehen. „Wir haben sogar schon Planeten gesehen,

→

Fremde Welten: Mit dem James-Webb-Weltraumteleskop werden die Forschenden erstmals die Atmosphären ferner Gesteinsplaneten untersuchen. Laura Kreidberg hat gleich zwei Beobachtungsanträge erfolgreich durchgebracht. In ihrer Doktorarbeit befasste sie sich mit der sogenannten Supererde Gliese 1214 b; ein weiteres Ziel für James Webb könnte der Exoplanet Gliese 436 b sein, der etwa so groß ist wie Neptun (unten).

GRAFIKEN: NASA, DEEP SPACE NETWORK (OBEN); NASA, ESA, AND A. FEILD AND G. BACON (UNTEN)



Erde



Gliese 1214 b



Neptun



Gliese 436 b



FOTO: ANNA ZIEGLER FÜR MPG

50

Engagiertes Teamwork: Laura Kreidberg legt in ihrer Abteilung viel Wert auf Kommunikation. Hier diskutiert sie mit ihrem Doktoranden Evert Nasedkin.

die um zwei Sterne kreisen, wie Tatooine in *Star Wars*“, sagt Kreidberg. Der Exoplaneten-Zoo ist reich an exotischen Mitgliedern.

Mit ihrer Doktorarbeit und weiteren Veröffentlichungen machte sie von sich reden, erwarb auch einige Preise. Kein Wunder also, dass sie sehr bald unter mehreren attraktiven Stellenangeboten aussuchen konnte, zum Beispiel an der renommierten Harvard University. Ihre Entscheidung für die Direktorenstelle am Max-Planck-Institut für Astronomie in Heidelberg hatte schließlich mehrere Gründe. Hier hat sie die Möglichkeit, langfristig mit festen Mitteln eine eigene Arbeitsgruppe aufzubauen. Sieben von insgesamt fünfzehn bewilligten Stellen sind besetzt, weitere hat sie bereits über Stipendien eingeworben. Der Vorteil: Fachleute aus aller Welt und unterschiedlichen Disziplinen arbeiten unter einem Dach, Beobachterinnen und Beobachter ebenso wie Theoretikerinnen und Theoretiker, die komplexe Atmosphärenmodelle rechnen können. „Die Forschung zu Exoplaneten ist interdisziplinär“, sagt Laura Kreidberg.

Ein weiterer wichtiger Grund war der leichtere Zugang zu den europäischen Großobservatorien, vor allem dem Very Large Telescope der Europäischen Südsternwarte Eso in Chile. Außerdem wird bis zum Ende dieses Jahrzehnts das dann größte Teleskop der Erde hinzukommen, das Extremely Large Telescope der Eso. Es wird einen Sammelspiegel mit 39 Meter Durchmesser erhalten und damit in der beobachtenden Astronomie ganz neue Maßstäbe setzen. Das Heidelberger Max-Planck-Institut ist am Bau eines Instruments beteiligt, das sowohl Bilder als auch Spektren im Infrarotbereich aufnehmen wird. „Damit ermöglicht es mir die Max-Planck-Gesellschaft, über einen sehr langen Zeitraum mit den weltweit besten Instrumenten beobachten zu können“, sagt Kreidberg.

Doch bevor es so weit ist, wird die Astronomin mit dem neuen Superstar der Szene beobachten, dem James-Webb-Weltraumteleskop. Nach jahrelangen Verzögerungen und Kostensteigerungen gelangte das zehn Milliarden Dollar teure Instrument endlich im Dezember 2021 ins All und erreichte vier Wochen später seinen Bestimmungsort – 1,5 Millionen Kilometer von der Erde entfernt. Dort, in tiefer Finsternis, soll es die Fähigkeiten des Hubble-Teleskops um ein Vielfaches übertreffen. „Es wird 10 000-mal besser sein“, schwärmt Kreidberg. Der Spiegel, die Abdeckung der Wellenlängen sowie das spektrale Auflösungsvermögen seien jeweils um den Faktor zehn besser. „Durch die Beobachtung im infraroten Licht können wir zu viel kühleren

und damit potenziell bewohnbareren Planeten vordringen als bisher, und wir können auch bestimmte Moleküle in den Atmosphären von Exoplaneten leichter nachweisen.“

Das James Webb ist allerdings ein Allroundgerät, das sich genauso gut für die Untersuchung ferner Galaxien, schwarzer Löcher oder lichtschwacher Kometen eignet. Dementsprechend groß ist die Nachfrage der Forschenden nach Beobachtungszeit. Insgesamt gingen für die 6000 zur Verfügung stehenden Stunden des ersten Beobachtungszyklus 1172 Anträge von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus 44 Ländern ein. Von den schließlich 266 ausgewählten Proposals stammt ein Drittel aus Mitgliedstaaten der Europäischen Weltraumorganisation Esa, die an dem neuen Superteleskop beteiligt ist.

Laura Kreidberg ging aus diesem Wettbewerb besonders erfolgreich hervor: Das internationale Komitee genehmigte gleich zwei ihrer Anträge. „Ich hatte sogar vier Anträge geschrieben, das war wirklich eine harte Zeit“, sagt sie. In den Anträgen mussten sämtliche Details bis ins Letzte ausgearbeitet sein. „Einen Monat lang saß ich mit dem Laptop zu Hause und füllte die Anträge aus, während mein Mann mich mit Eiscreme versorgte.“ Arbeit und Eiskosten haben sich gelohnt. Bisher ließen sich Atmosphären nur auf heißen Planeten von der Größe des Jupiters nachweisen, weswegen diese Himmelskörper auch heiße Jupiter genannt werden. Das James-Webb-Weltraumteleskop soll nun den Durchbruch schaffen und auch Atmosphären von kleineren Gesteinsplaneten zugänglich machen. Das Problem besteht in allen Fällen darin, dass der Stern millionenfach heller ist als der nahe Planet und diesen überstrahlt.

Dies ist auch der Fall bei einem Exoplaneten namens Trappist-1c, den Kreidberg für ihre Beobachtungen mit dem Weltraumobservatorium ausgewählt hat. Dieser 40 Lichtjahre entfernte Gesteinsplanet ist nur wenig größer als die Erde, umkreist seinen Stern aber in so geringem Abstand, dass auf ihm eine Temperatur herrscht, die jener auf der Venus ähnlich ist. „Dieser Planet ist die kühlfeste felsige Welt, die wir mit James Webb nachweisen können“, sagt die Astronomin. „Wir wollen herausfinden, ob er eine Atmosphäre besitzt.“

Das geschieht in einem ersten Schritt auf indirekte Weise, weil sich Stern und Planet selbst mit James Webb nicht getrennt beobachten lassen. Im Infrarotbereich, in dem der Planet Wärmestrahlung ausstrahlt, wird die Helligkeit von Stern und Planet ge-

—>

meinsam gemessen. Dann ein zweites Mal, wenn der Planet hinter dem Stern vorbeizieht und seine Strahlung vom Stern blockiert ist. Aus der Änderung der Gesamthelligkeit lässt sich die Helligkeit des Planeten ermitteln, und daraus ergibt sich seine Temperatur. Diese hängt stark davon ab, ob eine Atmosphäre vorhanden ist oder nicht. Ohne Atmosphäre trifft das gesamte Sternenlicht auf eine Hemisphäre und erhitzt diese sehr stark. Ist der Planet aber von einer dicken Atmosphäre umgeben, so transportiert die Gashölle die Wärme von der heißen Tag- zur kühleren Nachtseite und sorgt so für einen Ausgleich. Mit Atmosphäre ist die Tagseite nicht so heiß wie ohne. Eine solche Messung liefert also einen indirekten Hinweis auf eine Atmosphäre.

vulkanischen Basalten, erstarrten Magmaflächen und Granit fahnden – Indikatoren für die Wiederaufbereitung der Kruste und der Tektonik. „Außerdem wollen wir nach Schwefeldioxidspuren als Folge von vulkanischen Ausgasungen suchen.“

Das große Ziel dieser Forschung ist der Nachweis von Biosignaturen in der Atmosphäre. Am häufigsten genannt wird hier die gleichzeitige Anwesenheit von Sauerstoff und Methan. Normalerweise reagieren diese Gase schnell miteinander zu Kohlendioxid und Wasser. „Wenn wir die beiden Gase gleichzeitig sehen, bedeutet das also, dass sie ständig von irgendetwas produziert und nachgeliefert werden, und dieses Etwas ist auf der Erde das Leben“, sagt

## „Wir wollen nach Schwefeldioxidspuren als Folge von vulkanischen Ausgasungen suchen.“

52

Sollte diese Beobachtung auf die Existenz einer Atmosphäre hindeuten, würde Kreidberg für die nächste Runde mit James Webb eine ergänzende Messung beantragen. Dieses Mal mit einem Spektrografen. Wenn der Planet vor dem Stern vorbeizieht, durchquert ein Teil des Lichts die Planetenatmosphäre, deren Moleküle in einem Spektrum ihre Fingerabdrücke hinterlassen. „Auf diese Weise können wir feststellen, ob die Atmosphäre zum Beispiel Wasser, Methan oder Kohlendioxid enthält“, so die Forscherin.

Da die Aufnahme eines Spektrums zeitaufwendig ist, wird sie erst angefertigt, wenn die vorherige Helligkeitsmessung bestätigt hat, dass überhaupt eine Atmosphäre existiert. Ein kuriozes Detail hat die Astronomin erst in Heidelberg erfahren. Der Farbfilter, durch den Trappist-1c aufgenommen wird, ist Teil eines Filtrerrads, dessen Mechanik das Max-Planck-Institut entwickelt und gebaut hat. „Noch ein Grund mehr dafür, dass ich hierhergekommen bin“, sagt Kreidberg schmunzelnd.

Der zweite Gesteinsplanet, LHS 3844b, ist ebenfalls etwas größer als die Erde, aber rund 770 Grad heiß und besitzt vermutlich keine Atmosphäre. In diesem Fall geht es darum, erstmals die geologischen Verhältnisse eines terrestrischen Planeten zu verstehen. Mit James Webb will Laura Kreidberg nach

die Max-Planck-Direktorin. An dieser Aufgabe allerdings wird voraussichtlich selbst James Webb scheitern. Insbesondere Sauerstoff hinterlässt nur eine sehr schwache spektroskopische Signatur. Zudem erschweren Wolken in der Atmosphäre solche Beobachtungen.

Die Frage, welche weiteren Biomarker es geben könnte, ist zurzeit hochaktuell. So wissen wir, dass die Erdatmosphäre bis vor etwa 600 Millionen Jahren kaum Sauerstoff enthielt, dass aber sehr wohl Leben existierte, wenn auch primitives. Die damalige Atmosphäre besaß also andere Biomarker als die heutige. Vielleicht sind diese in den kommenden Jahren auf anderen Planeten nachweisbar.

Die Wissenschaftlerin ist jedenfalls überzeugt davon, dass irgendwo da draußen Leben existiert. Auch hier könnte es – wie bei den Exoplaneten – eine wesentlich größere Vielfalt geben, als wir es uns vorstellen. „Für die Suche nach Lebensmerkmalen in den Atmosphären ferner Planeten benötigen wir noch bessere Teleskope – und Geduld“, resümiert die Astronomin. Bei Nasa und Esa hat die Suche nach Biomarkern oberste Priorität. Es laufen bereits Planungen für Weltraumteleskope der nächsten Generation, die vielleicht in den 2040er-Jahren starten könnten. „Das wäre dann noch im Laufe meiner Karriere“, sagt Laura Kreidberg und lacht.

