

Im Chemielabor des Kosmos

Als junges Mädchen war sie eine begabte Zeichnerin und interessierte sich sehr für Kunst. Die Weichen für ihre Zukunft schienen gestellt. Wäre da nicht ein Buch gewesen – ein Buch, das sie in die Weiten des Weltalls trug und schließlich ihren Berufswunsch entschied: So wurde **Paola Caselli** nicht Künstlerin, sondern Astrochemikerin. Als Direktorin am **Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik** in Garching ist sie immer noch so gefangen von kosmischen Wolken wie damals als Zwölfjährige.

TEXT ALEXANDER STIRN

Am Anfang war ein Buch: *Die schwarze Wolke*, ein Science-Fiction-Roman über ein Ungetüm aus Gas und Staub, das sich zur Überraschung von Astronomen als intelligente Lebensform entpuppen sollte. Fred Hoyle, ein ebenso genialer wie umstrittener Astrophysiker, hatte es Ende der 1950er-Jahre geschrieben.

Und Paola Caselli war hin und weg, als sie – im Alter von zwölf Jahren – von ihrer Lehrerin das Buch in die Hand gedrückt bekam. Allein der Gedanke, mit einem Teleskop in die Tiefen des Alls zu blicken, Wolken zu studieren und womöglich Leben zu entdecken, faszinierte die Schülerin. Endlich, dämmerte es Caselli, hatte sie die Aufgabe, ja die Bestimmung gefunden, von der sie geträumt hatte.

40 Jahre später sitzt Caselli in einem hellen, aufgeräumten Eckbüro vor den Toren Münchens. Dunkle, schwarze Wolken sind dennoch allgegenwärtig. Mit den weltweit größten und leistungsfähigsten Teleskopen beobachtet die Italienerin, seit 2014 Direktorin am Max-Planck-Institut für extraterrestrische

Physik in Garching, welche Moleküle in interstellaren Wolken existieren, welche chemischen Prozesse dort ablaufen und wie sich daraus Sterne, Planeten und vielleicht sogar Leben entwickeln könnten. Angetrieben wird Caselli – schwarze Haare, schwarze Brille und ein kaum zu stoppender Redefluss – von einer immensen Neugier. Und von einer geradezu preußischen Disziplin.

EIN BUCH VON FRED HOYLE BESTIMMT DEN LEBENSWEG

„Fred Hoyle war ein Visionär, ein Idol“, sagt Caselli mit einem Strahlen in den Augen, das keine Zweifel daran lässt, welche Faszination sie damals erfasst haben muss – und wie groß diese Begeisterung noch heute ist. „Sein Buch hat mir die Augen geöffnet. Ich habe die Punkte verbunden und wusste: Okay, genau das will ich machen. Ich will die kurze Zeit, die ich in diesem Universum habe, dazu nutzen, es besser zu verstehen.“

Dabei war Hoyles Erstlingswerk, obwohl gespickt mit physikalischen Formeln, nichts anderes als Science-

Fiction. Im Jahr 1957, als der berühmte britische Astrophysiker sein Buch verfasste, kannte man in interstellaren Wolken nur einige wenige einfache organische Moleküle (CN, CH, CH+), geschweige denn irgendwie geartete Lebensformen. Das Feld der Astrochemie, auf dem Caselli heute zu Hause ist, existierte noch nicht einmal.

Inzwischen ist die Wissenschaft deutlich weiter. Seit Anfang der 1990er-Jahre bestehen kaum noch Zweifel, dass Moleküle fast überall im Kosmos vorkommen: in den schwarzen Wolken aus Gas und Staub, die sich zwischen den leuchtenden Sternen erstrecken, in unserer Galaxis genauso wie in den Tiefen des Weltalls. Im Labor ist es Chemikern zudem gelungen, die Eigenschaften dieser Moleküle detailliert zu studieren.

Besonders interessant für Astronomen ist, wie sich die Stoffe verhalten, wenn sie durch Strahlung und Kollisionen mit anderen Molekülen angeregt

Zielstrebig: Schon als junges Mädchen ließ sich Paola Caselli vom Universum faszinieren und ging beharrlich ihren Weg in die Wissenschaft. Heute ist sie Direktorin am Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik in Garching.



» Meine Eltern haben mir viel beigebracht, insbesondere, wie man über die Runden kommt.
Nur um die Wissenschaft musste ich mich selbst kümmern.

werden, vor allem mit dem im Kosmos am weitesten verbreiteten Molekül, dem des Wasserstoffs (H_2): Moleküle können dann rotieren, vibrieren und elektromagnetische Wellen mit einer genau bekannten Frequenz abgeben. Eine Art leuchtender Fingerabdruck entsteht, der charakteristisch ist für jedes Molekül.

„Diese Fingerabdrücke erlauben es uns, die Physik in den kosmischen Wolken aus großer Entfernung zu untersuchen“, sagt Caselli. Denn obwohl die Wolken dunkel erscheinen und meist nur mit geringer Energie schimmern, sind große Teleskope in der Lage, die charakteristische Strahlung aufzufangen. Die dabei gewonnenen Daten geben den Astrochemikern Aufschluss über die Zusammensetzung der Wolken.

Doch nicht nur das: Die Messwerte verraten auch viel über die Verhältnisse im All. Bewegen sich die Moleküle etwa relativ zur Erde, dann werden die Frequenzen der Fingerabdrücke durch den sogenannten Dopplereffekt leicht verschoben – ähnlich wie sich die Ton-

höhe der Sirene eines Krankenwagens ändert, der mit hoher Geschwindigkeit an einem Menschen vorbeirast. „Kollabiert eine Wolke, wie das vor der Geburt eines Sterns der Fall ist, können wir solche Bewegungen von der Erde aus erkennen“, sagt Paola Caselli.

AMMONIAK DIENT ALS KOSMISCHES THERMOMETER

Moleküle können aber noch mehr. Ein Gas wie Ammoniak verfügt aufgrund seiner Struktur über verschiedene Übergänge. Mehrere Strahlungslinien entstehen, deren relative Intensität von der Umgebungstemperatur abhängt. Astrochemiker nutzen Ammoniak daher als Thermometer für die fernen Wolken.

Spannend ist auch die chemische Zusammensetzung der kosmischen Strukturen. Ein genauer Blick auf die Signale zeigt, dass die meisten Moleküle, wie von Fred Hoyle prognostiziert, organischer Natur sind: dass sie also aus Kohlenstoff und häufig auch aus Stick-

stoff bestehen – grundlegenden Voraussetzungen für Leben, wie wir es kennen. Manche Moleküle sind sogar nur einen Schritt entfernt von der einfachsten Aminosäure Glycin, einem wichtigen Baustein für Proteine.

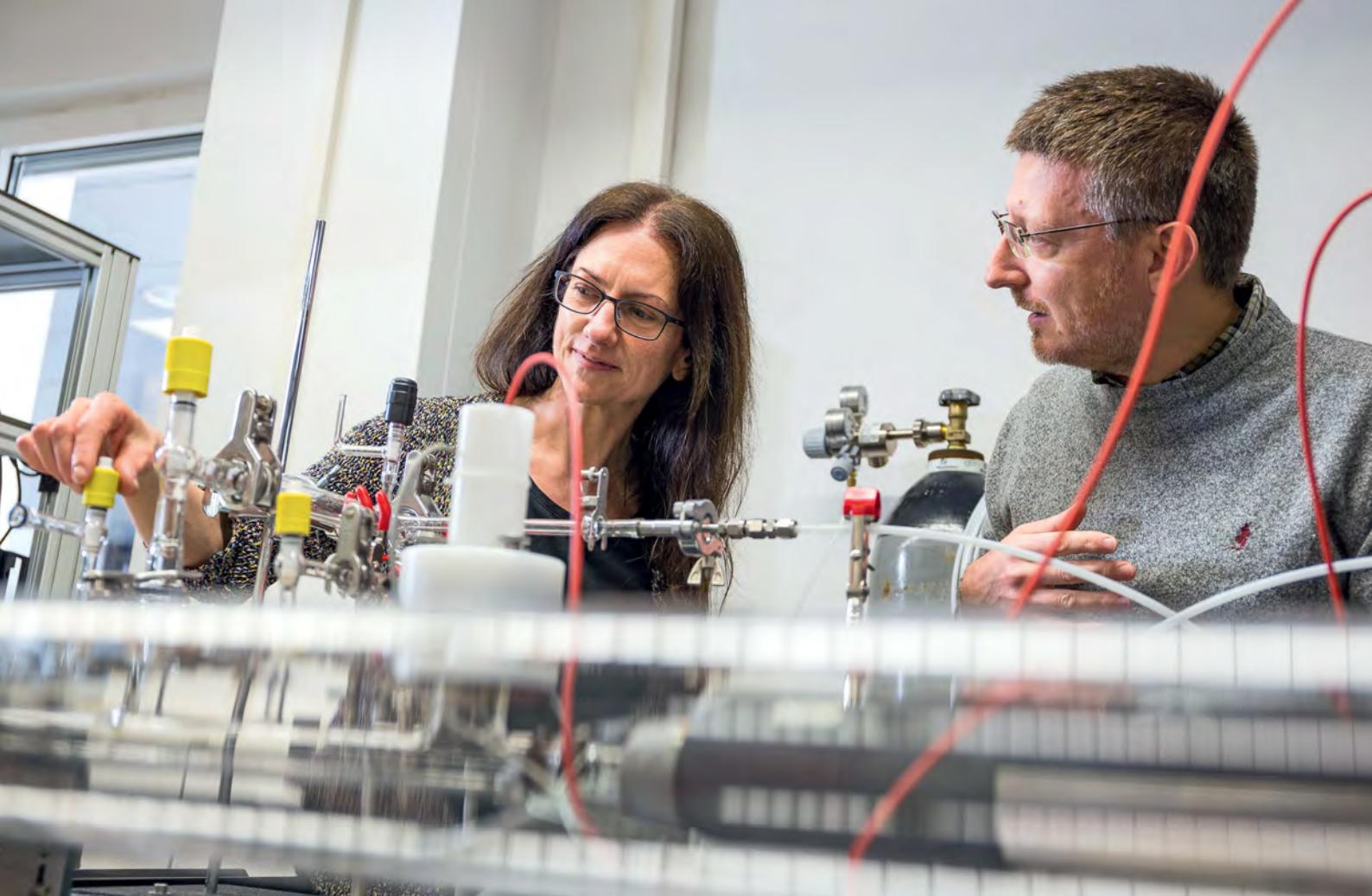
Auch Fettsäuren, die für Zellmembranen gebraucht werden, sowie Nukleinbasen, die Bestandteile unseres Erbguts sind, finden sich im ursprünglichen Material des Sonnensystems. Und Wasser ist sowieso allgegenwärtig. „Im Grunde“, sagt Caselli, „sehen wir dort alles, was wir für eine Zelle, was wir für ein Lebewesen benötigen – sogar noch aus einer Zeit, bevor das Leben auf die Erde kam.“

Im toskanischen Badeort Follonica, in dem Caselli aufwächst, ist all das mindestens so weit entfernt wie die nächsten Sterne und Galaxien. Am exotischsten sind noch die ausländischen Touristen, die auf dem Weg nach Elba, der vorgelagerten Insel, Station in Follonica machen. Casellis Mutter arbeitet dort als Näherin, meist von zu Hause

Wertvolles Werkzeug: Um an Daten zu gelangen und Einblick in kosmische Molekülwolken zu gewinnen, beobachten Paola Caselli und ihr Team an den größten und besten Teleskopen der Erde. Dazu zählen ALMA, ein Verbund von 66 Radioantennen in der chilenischen Atacama-Wüste (links) sowie die 30-Meter-Schüssel auf dem Pico Veleta in Spanien, die von IRAM betrieben wird.



Fotos: Clem & Adri Bacri-Normier (wingsforscience.com)/ESO / IRAM



Das All im Labor: Es ist nicht so einfach, die Bedingungen kosmischer Gaswolken im Experiment nachzubauen, denn diese Wolken sind im Vergleich zur Erdatmosphäre extrem dünn und sehr kalt. Doch Paola Caselli und ihrem Mitarbeiter Luca Bizzocchi gelingt es, reaktive Moleküle herzustellen und zu untersuchen. Das von diesen ausgestrahlte Licht lässt sich dann wiederum mit Beobachtungen echter Molekülwolken im All vergleichen.

aus, am selben Tisch, an dem die kleine Paola ihre Hausaufgaben macht.

Auch der Vater stammt aus einer nicht mit Wohlstand gesegneten Familie, hat keine Ausbildung, repariert Schuhe, arbeitet in Bars und Geschäften, wird schließlich Friseur – eine Tätigkeit, der Casellis jüngerer Bruder noch heute nachgeht. „Meine Eltern stammen aus einfachen Verhältnissen“, erzählt Paola Caselli. „Sie haben mir viel beigebracht, insbesondere, wie man über die Runden kommt. Nur um die Wissenschaft, um die musste ich mich selbst kümmern.“

Zunächst steht aber die Kunst im Mittelpunkt. Die kleine Paola malt leidenschaftlich gern, hauptsächlich mit Ölfarben. Meist entstehen farbenfrohe Landschaften, Vögel, fast schon mikroskopisch detaillierte Insekten. Später, im Gymnasium, werden daraus präzise Schwarz-Weiß-Bilder, abstrakt, kalligrafisch angehaucht. „Wenn ich malte, habe ich mich völlig in meinen Bildern verloren und erst nach fünf

oder sechs Stunden gemerkt: Oh, ich sollte vielleicht mal etwas essen“, sagt Caselli und lacht.

IM ZENTRUM DUNKLER WOLKEN ENTSTEHEN PROTOSTERNE

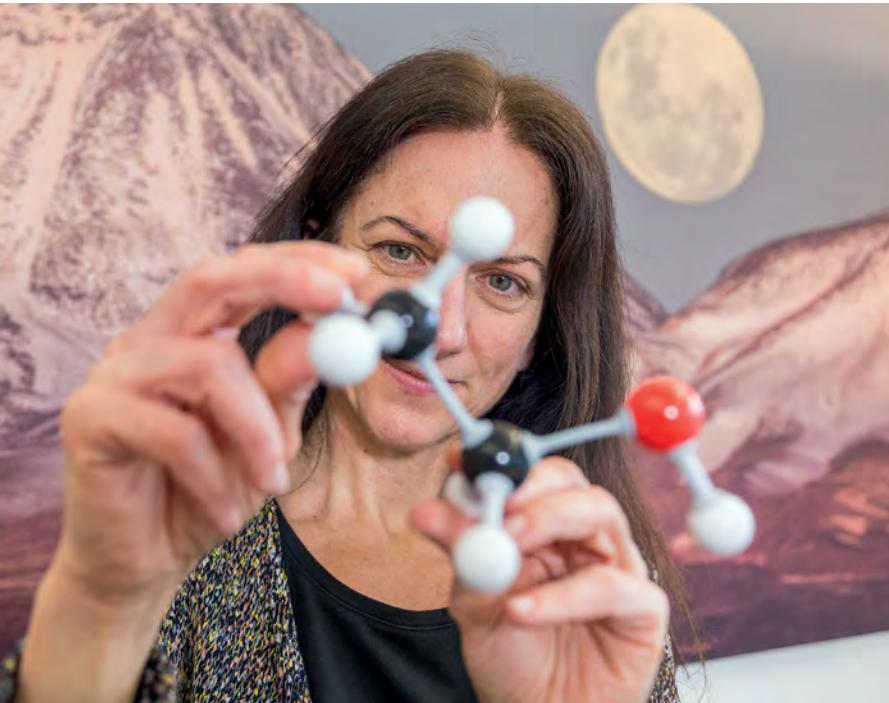
Gegen Ende der Gymnasialzeit – Fred Hoyles Buch hatte längst seine Wirkung entfaltet, die zuvor unschlüssige Schülerin wusste, dass sie Astronomin werden möchte – kommt dann der harte Schritt. „Ich entschied mich, aus Zeitgründen komplett mit der Malerei aufzuhören“, sagt Caselli. „Wenn man etwas machen will, muss man sich dem voll und ganz verschreiben. Oder es bleiben lassen.“

Derzeit liegt der Fokus ganz klar auf der Entstehung von Sternen und Sternensystemen: Im Zentrum dunkler Wolken ballen sich nach und nach die dort vorhandenen Moleküle. Erste zarte Sternstrukturen entstehen, sogenannte Protosterne. Noch sind sie nicht dicht genug, um das nukleare Feuer der Kern-

fusion zu entfachen, das herkömmliche Sterne zum Leuchten bringt. Ihr fahles Licht stammt vielmehr von molekularem Gas und Staub, das sich aufheizt und glimmt, während es auf die frisch geborenen Protsterne prasselt.

Einfach zu verstehen sind die dortigen Verhältnisse und die damit verbundenen chemischen Reaktionen allerdings nicht. Zu Beginn, in den molekularen Wolken, verlieren sich nur ein paar Tausend Moleküle in jedem Kubikzentimeter des Weltraums. Am Ende, wenn der Protostern entstanden ist, sind es eine Quadrillion Teilchen pro Kubikzentimeter. „Dazwischen müssen wir unheimlich viele physikalische Schritte verstehen“, sagt Caselli.

Doch damit nicht genug: Wie ein Donut umgeben die Reste der ursprünglichen Gas- und Staubwolken die frisch geborenen Sterne. Genau in diesen Regionen können Planeten entstehen – und mit ihnen ganze Sternensysteme. Dabei ereignen sich ähnliche Prozesse, wie sie einst zur Geburt unseres Sonnen-



systems geführt haben müssen. Für Caselli ein äußerst spannender Vorgang: „Im Grunde geht es darum, unsere eigene Geschichte zu verstehen“, sagt die Astrochemikerin. Und das alles mithilfe des Lichts ferner Moleküle.

E-MAILS NACH ÜBERSEE AN ZWEI PROFESSOREN

Vor 35 Jahren, als Paola Caselli fertig ist mit dem Gymnasium, als sie sich für die Wissenschaft und gegen die Kunst entschieden hat, steckt die Astrochemie selbst allerdings noch im „Protostern-Stadium“. Sie funkelt nicht, sie ist kaum existent. Caselli geht nach Bologna, an eine der damals einzigen beiden Astronomiefakultäten in Italien. Schnell wird klar, dass sie ihrem Ziel allein mit Astrophysik nicht näher kommen wird. Caselli belegt zusätzlich Chemie, absolviert auch dort die Prüfungen, lernt Leute kennen, mit denen sie noch heute zusammenarbeitet. Das Studium schließt sie im Schnellgang ab. „Da meine Eltern nicht reich waren und mich nicht ewig unterstützen konnten, fühlte ich die Verpflichtung, keine Zeit zu verschwenden“, sagt die Max-Planck-Direktorin.

Für den Master in Astrochemie muss sie allerdings, daran besteht kein Zweifel, ins Ausland. Eines Abends – Caselli arbeitet an einem Teleskop unweit von Bologna, das Wetter ist schlecht, es gibt nichts zu tun – schickt die Studentin zwei E-Mails an amerikanische Professoren. Deren Namen hatte sie in genau jenen astrochemischen Veröffentlichungen entdeckt, die ihr am besten gefielen. „Das waren vielleicht die ersten E-Mails, die ich nach Übersee geschrieben habe“, erinnert sich Caselli. Beide Professoren antworten der italienischen Studentin. Beide laden sie ein.

Paola Caselli geht zunächst nach Ohio, später nach Harvard, wo sie im Alter von 28 Jahren promoviert. Der Familie zuliebe kehrt sie ein Jahr später nach Italien zurück, wo sie eine Dauerstellung als Wissenschaftlerin am Observatorium in Arcetri bekommt. „Das war großartig, denn ich war jetzt tatsächlich nahe bei meiner Familie, und ich hatte wunderbare Kollegen“, erinnert sie sich. Doch es ist auch ein ständiger Kampf um Studierende und um die Finanzierung der Forschung. Also wieder Harvard, schließlich das englische

Leeds, wo ihr ein Lehrstuhl angeboten wird. Das übliche Nomadentum einer Wissenschaftlerin eben.

„Wer forschen will, muss jede Chance annehmen, die geboten wird“, ist Caselli überzeugt. „Keinesfalls darf man Angst davor haben, wieder und wieder umzuziehen.“ Auch nicht, wenn – wie bei Paola Caselli – da eine Tochter ist, die sie seit dem Alter von dreieinhalb Jahren allein großzieht. „Klar ist so etwas manchmal nicht einfach, und man muss sein Leben sehr gut organisieren. Aber Kinder passen sich schnell an eine neue Umgebung an“, sagt die 51-Jährige. „Solange die Eltern glücklich sind mit dem, was sie tun, ist das auch okay für die Kinder.“

Schließlich, im April 2014, geht es dann als Max-Planck-Direktorin nach München. Dort, in Casellis Eckbüro mit Blick auf den Bach, der mitten durchs Garchinger Institut fließt, hängen keine Bilder farbenprächtiger Nebel oder dunkler Wolken. Stattdessen schmücken großformatige Fotos von Teleskopanlagen die Wände. Es sind die Werkzeuge der Astrochemiker, und Paola Caselli braucht viele von ihnen: Je nachdem, wovon die fernen Mole-



küle angeregt werden – von kosmischer Strahlung, von fahlem Sternenlicht, von gewaltigen Explosionen –, leuchten sie in unterschiedlichen Bereichen des Spektrums: Manche Geheimnisse offenbaren sich mittels Radio- oder kurzer Mikrowellen, andere im infraroten Licht. Und um das Bild zu vervollständigen, werden auch Röntgenteleskope benötigt.

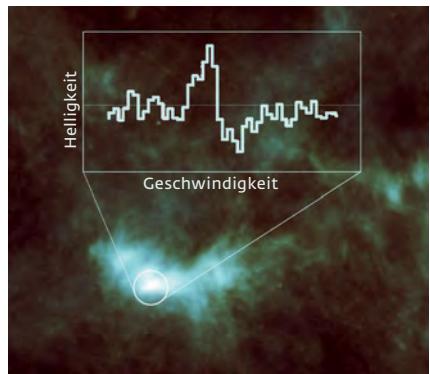
VIRTUELLES RIESENTELESKOP IM COMPUTER

Doch nicht nur ein bunter Mix aus Wellenlängen hilft beim Verständnis der Moleküle und ihrer Bewegungen: Um die Phänomene im Detail zu studieren, schalten die Astrochemiker zudem viele Teleskope zu einem sogenannten Interferometer zusammen. Durch Überlagerung der unterschiedlichen Signale entsteht im Computer ein virtuelles Riesen-teleskop mit immenser Auflösung. Der Blick aufs große Ganze geht dabei allerdings verloren, weshalb auch weiterhin einzelne Schüsseln benötigt werden. „Da wir die Wolken nicht anfassen können, ist es extrem wichtig, so viele komplementäre Informationen

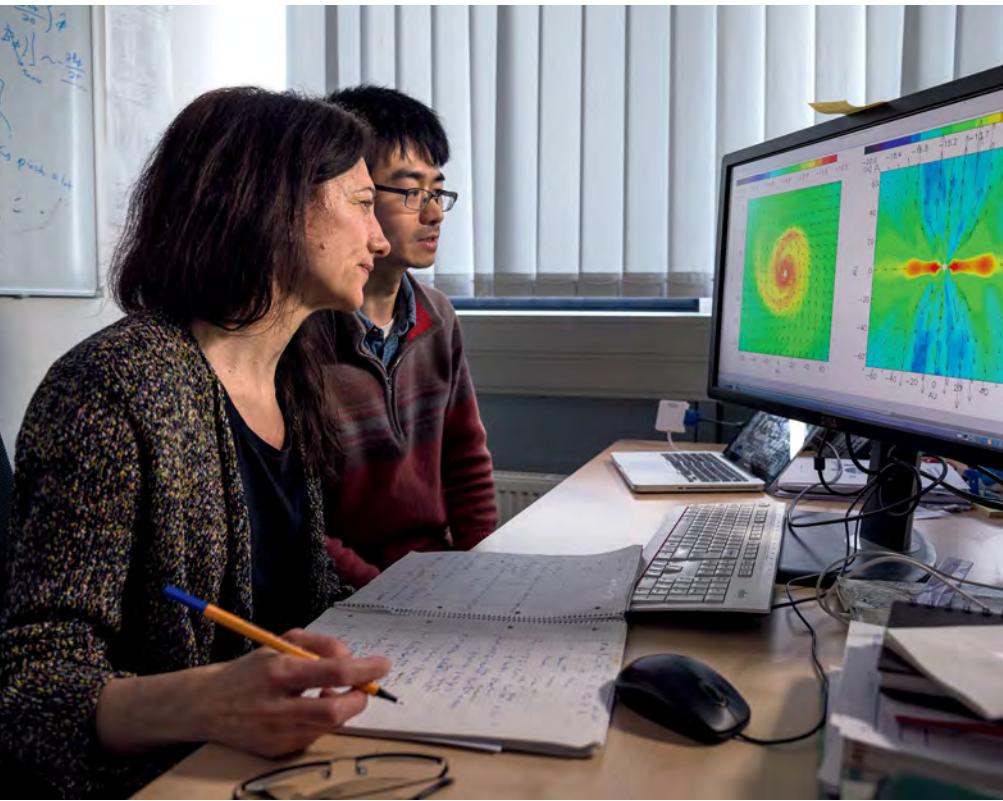
wie möglich zu bekommen“, sagt Caselli. „Das geht nur, wenn wir so viele elektromagnetische Frequenzen wie möglich untersuchen.“

Für Astrochemiker bedeutet das allerdings: Sie sind ständig unterwegs, in ganz unterschiedlichen Winkeln der Erde, etwa in Chile und auf Hawaii. „Das ist mitunter ganz schön hart. Man reist viel, muss die Nacht über aufbleiben und sofort verstehen, was vor sich geht. Schließlich will man keine wertvolle Teleskopzeit verschwenden“, sagt Caselli. Mittlerweile tut sich die Forscherin diesen Stress allerdings nicht mehr an. Sie schickt Studenten und Nachwuchswissenschaftler – damit sie lernen, damit sie die Teleskope besser verstehen, aber auch, damit sie ein bisschen Spaß haben.

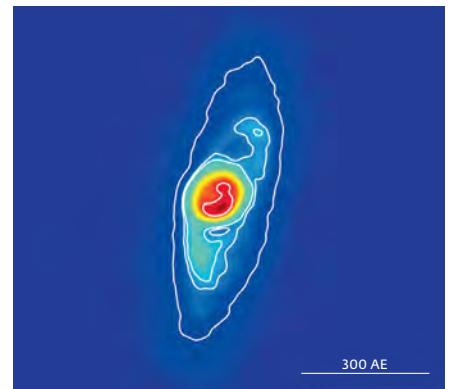
Denn der ist entscheidend: „Zum Wichtigsten für junge Wissenschaftler gehört, motiviert zu sein – verbunden mit der Bereitschaft, wertvolle Zeit für die Wissenschaft zu opfern“, sagt Caselli. Sie selbst habe zum Beispiel zweimal hintereinander an Weihnachten beobachten müssen. Die Italienerin schüttelt den Kopf. „Wer tut sich so etwas an, wenn er nicht über eine gewaltige



Im Kreißsaal der Sterne: Der Rho-Ophiuchi-Komplex im Schlangenträger (ganz oben) ist das leuchtende Beispiel für die Geburtsstätte von Sonnen. In solchen Wolken fahnden Forscher wie Paola Caselli nach Molekülen. Das kleinere Bild darunter zeigt den ersten Nachweis von Wasserdampf – dargestellt durch die Spektralkurve – innerhalb der dichten Wolke um einen Stern, der gerade im Entstehen begriffen ist. Die Region trägt den Namen Lynds 1544, liegt in der Konstellation Stier und wurde mit dem Weltraumteleskop *Herschel* im Infrarotlicht aufgenommen. Die Menge des in der Wolke gefundenen Wassers würde etwa 2000 Erdozeane füllen.



Zurück zu den Anfängen: Die Gruppe um Paola Caselli – hier mit Bo Zhao – beschäftigt sich in Theorie und Praxis, am Computer wie am Teleskop, mit dem Ursprung von Sternen und Planeten. Das Foto unten entstand mit dem Radiointerferometer ALMA und zeigt eine junge protoplanetare Scheibe. Sie ist in der größeren Wolke eingebettet, in der sie sich gebildet hat. Ähnlich wie auf diesem Bild sah wohl unser Sonnensystem vor ungefähr 4,6 Milliarden Jahren aus.



Motivation verfügt?“ Noten und Empfehlungsschreiben sind für die Astrochemikerin daher nicht alles: „Die Leute können so klug sein, wie sie wollen, wenn die Begeisterung fehlt, dann wird das nichts.“

DER TAG BEGINNT MIT SPORTLICHEN ÜBUNGEN

Im Auswahlgespräch versucht Caselli daher zu ergründen, ob Interesse für das Forschungsgebiet da ist, ob die Studenten für die Astrochemie brennen. Wenn nicht? Auch nicht schlimm. „Wichtig ist nur, dass die jungen Leute ein Feld finden, an dem ihre Leidenschaft hängt“, sagt sie. „Dann werden sie erfolgreich sein.“

Motivation und Disziplin: Auch an sich selbst stellt Paola Caselli die gleichen hohen Ansprüche. Wenn alles mal wieder etwas viel wird – mit der Arbeit, mit der Tochter, die bald Abitur macht und deren Bild groß auf Casellis aufgeräumtem Schreibtisch steht –,

vertraut die Italienerin auf eine gute Organisation: „Wenn man den Alltag durchplant, ohne lange nachzudenken, dann merkt man gar nicht, wie verrückt das alles ist.“ So gut wie jeder Tag beginnt daher mit Sport: Heimtrainer oder Stepper, auf jeden Fall aber Stretching für den Rücken. Selbst auf Reisen darf die Gymnastikmatte nicht fehlen. Um Zeit zu sparen und weil Caselli ohnehin nicht zum Lesen kommt, laufen dabei Hörbücher.

Auch beim Essen herrscht Disziplin: gesund, nicht zu viel, und vor allem, bitte, schnell. In Italien, erzählt Caselli mit weit ausladenden Gesten, sei oft eine halbe Stunde verplempert worden, bis alle bereit gewesen seien, gemeinsam in die Mensa zu gehen. Hier in Garching breche man zur vereinbarten Zeit auf. Punkt. „Ich mag die deutsche Art, die Ordnung, die Regeln“, sagt Caselli und lacht laut. „Ich mag klare Ansagen.“

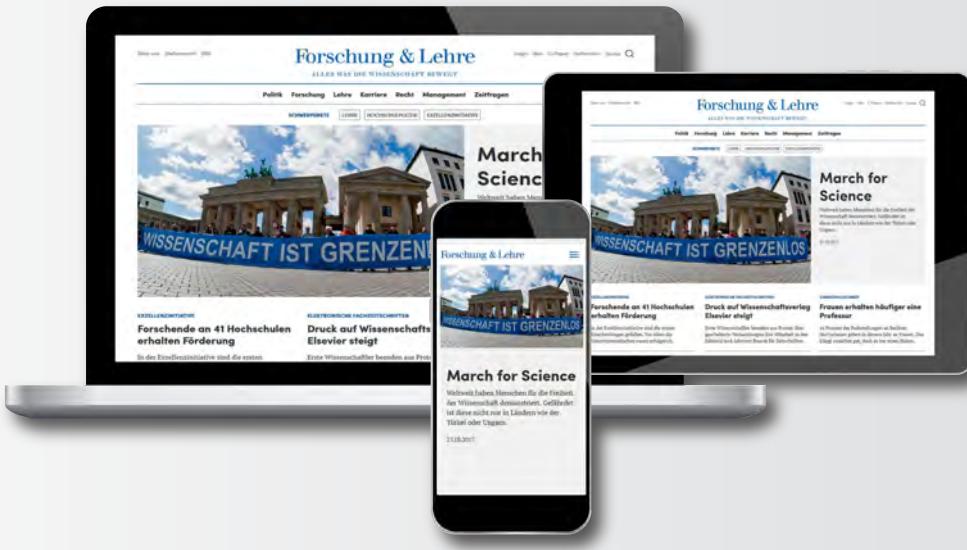
Fred Hoyle, das Idol mit der schwarzen Wolke, war da anders. Der ebenso

geniale wie umstrittene Astrophysiker stellte gern eigene Regeln auf, eigene Thesen. Eine seiner bekanntesten: Simple Lebensformen breiten sich im gesamten Universum aus und sind so auch auf die Erde gekommen. Eine Theorie namens Panspermie. „Ich glaube nicht daran“, sagt Caselli knapp. „Es ist zwar interessant, aber wir brauchen Beweise.“ Sicher sei bisher nur, dass Wasser und organische Moleküle regelmäßig huckepack auf Meteoriten zur Erde kommen. Ob das reicht, ob sich aus diesen im All produzierten Bausteinen Leben erschaffen lässt, will Caselli künftig mit Biophysikern ergründen.

Das wird nicht einfach, und es geht nicht schnell. Es ist, so die Astrochemikerin, ein Puzzle, ein Projekt für künftige Generationen. „Wichtig wird dabei sein, sich nicht in Details zu verlieren“, sagt die Wissenschaftlerin. Denn: „Wir müssen stets die großen Fragen im Kopf behalten, die wir unbedingt beantworten möchten. Nur das hält die Motivation am Leben.“

NEUE WEBSITE

Forschung & Lehre



Die neue Website von Forschung & Lehre, der auflagenstärksten hochschul- und wissenschaftspolitischen Zeitschrift Deutschlands, ist online!

Im modernen und responsiven Design erwarten Sie

- aktuelle Nachrichten
- Hintergrundberichte
- Interviews und Essays

zu Hochschulpolitik, Forschung, Lehre, Karriere, Recht, Management und über gesellschafts- und kulturpolitische Fragen.

Dazu kommen Ratgeber über Karriereperspektiven und Karrierepraxis in Hochschule und Wissenschaft sowie Meldungen über aktuelle Habilitationen und Berufungen.

Das alles jederzeit, tagesaktuell und optimiert für jedes Endgerät.

Mit dem Karriereportal academics bietet Forschung & Lehre darüber hinaus gemeinsam mit der ZEIT einen attraktiven und nutzerzentrierten akademischen Stellenmarkt.

Schauen Sie vorbei auf:

www.forschung-und-lehre.de