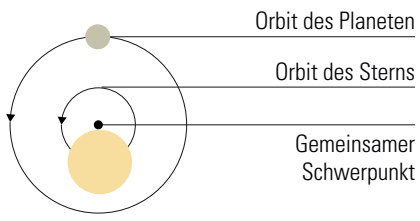
Wie man einen Planeten findet, den man nicht sehen kann: die zwei wichtigsten Methoden der Forscher

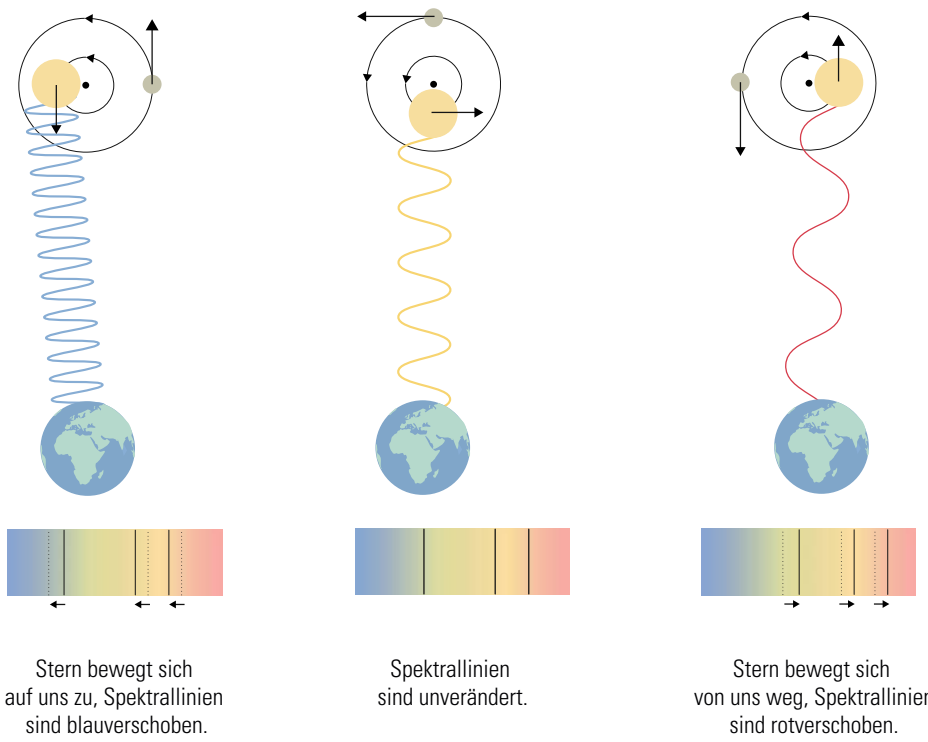
Radialgeschwindigkeitsmethode

Mit dieser Methode gelang Mayor und Queloz 1995 die allererste Entdeckung eines Exoplaneten.

Wenn ein Planet um einen Stern kreist, steht auch der Stern nicht still. Vielmehr kreisen sowohl Stern als auch Planet um den gemeinsamen Schwerpunkt.



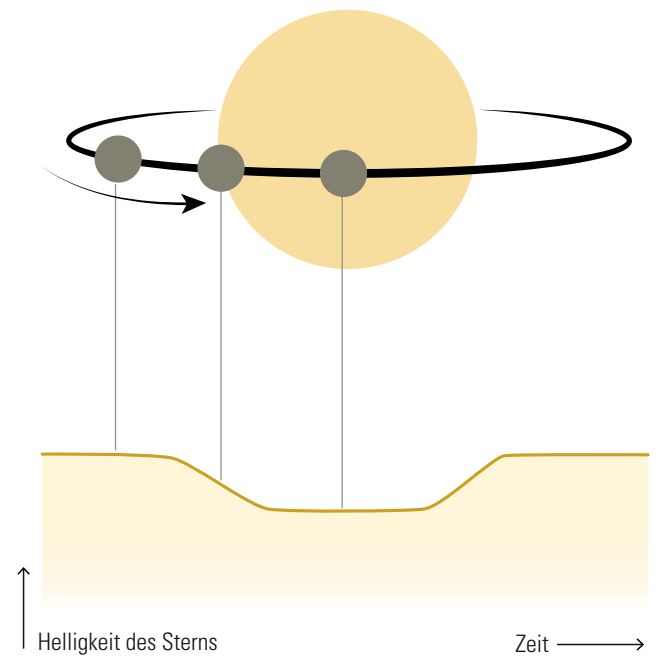
Von der Erde aus betrachtet, bewegt sich deshalb der Stern periodisch auf uns zu und wieder von uns weg. Die sogenannte Radialgeschwindigkeit ist dabei umso grösser, je massereicher der Planet und je kleiner sein Abstand vom Stern ist. Nachgewiesen wird diese Taumelbewegung anhand farblicher Veränderungen des Sternlichts.



QUELLE: JOSHUA N. WINN ET AL.

Transitmethode

Wenn ein Planet die Sichtlinie zwischen einem Stern und der Erde kreuzt, verdunkelt sich der Stern geringfügig. Die periodisch schwankende Helligkeit verrät den Planeten.



Eine scheinbar absurde Beobachtung

Für die Entdeckung des ersten extrasolaren Planeten erhalten die Schweizer Michel Mayor und Didier Queloz den Physik-Nobelpreis

CHRISTIAN SPEICHER (TEXT),
ANJA LEMCKE (GRAFIK)

Schaut man sich unser Sonnensystem mit seinen acht Planeten an, so scheint sich dahinter ein einfaches Ordnungsprinzip zu verbergen. In der Nähe der Sonne kreisen die vier terrestrischen Planeten, die nicht allzu gross sind und wie die Erde vornehmlich aus Gestein bestehen. Jenseits des Mars beginnt das Reich der Gasplaneten. Dominiert wird es von Jupiter und Saturn, die im Vergleich zu den terrestrischen Planeten ungemein massereich sind.

Als sich Astronomen in den 1990er Jahren auf die Suche nach Planeten machten, die um andere Sterne als die Sonne kreisen, war es nur natürlich, dass sie dabei unser Sonnensystem vor Augen hatten. Sie lagen falsch. Als die Schweizer Astronomen Michel Mayor und Didier Queloz im Jahr 1995 den ersten extrasolaren Planeten entdeckten, der um einen Stern wie die Sonne kreist, trauten sie ihren Augen kaum. Der Planet hatte eine ähnliche Masse wie der Jupiter. Doch er kreiste in so geringem Abstand um sein Muttergestirn, dass er für einen vollen Umlauf nur wenige Tage benötigte. Für diese bahnbrechende Entdeckung sind Mayor und Queloz nun mit der einen Hälfte des Nobelpreises für Physik ausgezeichnet worden. Ebenso wie der dritte Preisträger, der Kanadier James Peebles, haben die beiden entscheidend dazu beigetragen, dass wir den Kosmos und unsere Stellung darin heute mit anderen Augen sehen.

Nachweis auf Umwegen

Michel Mayor und sein damaliger Doktorand Didier Queloz starteten ihre Suche im Jahr 1994. Planeten direkt zu beobachten, war damals noch ein Ding der Unmöglichkeit. Denn anders als Sterne leuchten Planeten nicht aus sich selbst heraus. Deshalb werden sie vom Licht ihres Muttergestirns überstrahlt. Mayor und Queloz taten deshalb das, was andere Forschergruppen zu jener Zeit auch taten. Sie konzentrierten sich auf die Sterne. Mit einem neu entwickelten Spektrografen suchten sie im Sternenlicht nach periodischen Schwankungen, die sich auf einen Planeten zurückführen lassen.

Die Idee dahinter war die folgende: Wenn ein Planet um einen Stern kreist, so gerät dadurch der Stern geringfügig ins Taumeln. Während der einen Hälfte des Planetenumlaufs bewegt er sich auf die Erde zu, in der anderen Hälfte von ihr weg. Das hat zur Folge, dass das Licht des Sterns abwechselnd mal blauer und mal roter wird, weil die Lichtwellen entweder gestaucht oder gestreckt werden. Dieser sogenannte Dopplereffekt ist umso ausgeprägter, je massereicher der Planet ist, der am Stern «zieht». Am ehesten sollten sich mit dieser Methode also Planeten vom Kaliber eines Jupiters nachweisen lassen.

Mayor und Queloz waren nicht die einzigen Astronomen, die auf diese indirekte Nachweismethode setzten. Ihre grössten Konkurrenten sassen in den USA. Dort suchte die Gruppe von Geoffrey Marcy von der University of California in Berkeley bereits seit mehreren Jahren nach Sternen mit einem jupiterähnlichen Begleiter. Mayor und Queloz wussten, welche Sterne die Gruppe von Marcy bereits ins Visier genommen hatten. Deshalb wählten sie andere Kandidaten. Dazu zählte auch der sonnenähnliche Stern 51 Pegasi (inzwischen auf den Namen Helvetios getauft), der 50 Lichtjahre von der Erde entfernt ist.

Die beiden Astronomen bemerkten relativ rasch, dass mit diesem Stern etwas nicht stimmte. Denn die Geschwindigkeit, mit der er sich bewegte, schwankte im Zeitraum von nur vier Tagen. Queloz, der die Daten damals auswertete, glaubte zunächst an einen Fehler. Denn für einen jupiterähnlichen Planeten waren diese Schwankungen viel zu kurz. Der Jupiter braucht für einen vollen Umlauf um die Sonne 12 Jahre. Ein Gasriese, der seinen Stern in nur vier Tagen umkreist: Das war eine absurde Vorstellung.

Queloz war die Sache so peinlich, dass er seinem Doktorvater zunächst nichts von dem merkwürdigen Verhalten des Sterns erzählte. Stattdessen machte er sich auf die Suche nach einem Fehler in seiner Software. Doch wie er die Dinge auch drehte und wendete, er fand keinen. Erst im Januar 1995 zog er Mayor ins Vertrauen, der sich damals gerade in Hawaii befand. In einem früheren Interview mit der NZZ beschrieb Queloz diesen denkwürdigen Moment so. Er, Queloz, habe gesagt: «Michel, ich glaube, ich habe einen Planeten gefunden.» Darauf dieser: «Warum nicht?»

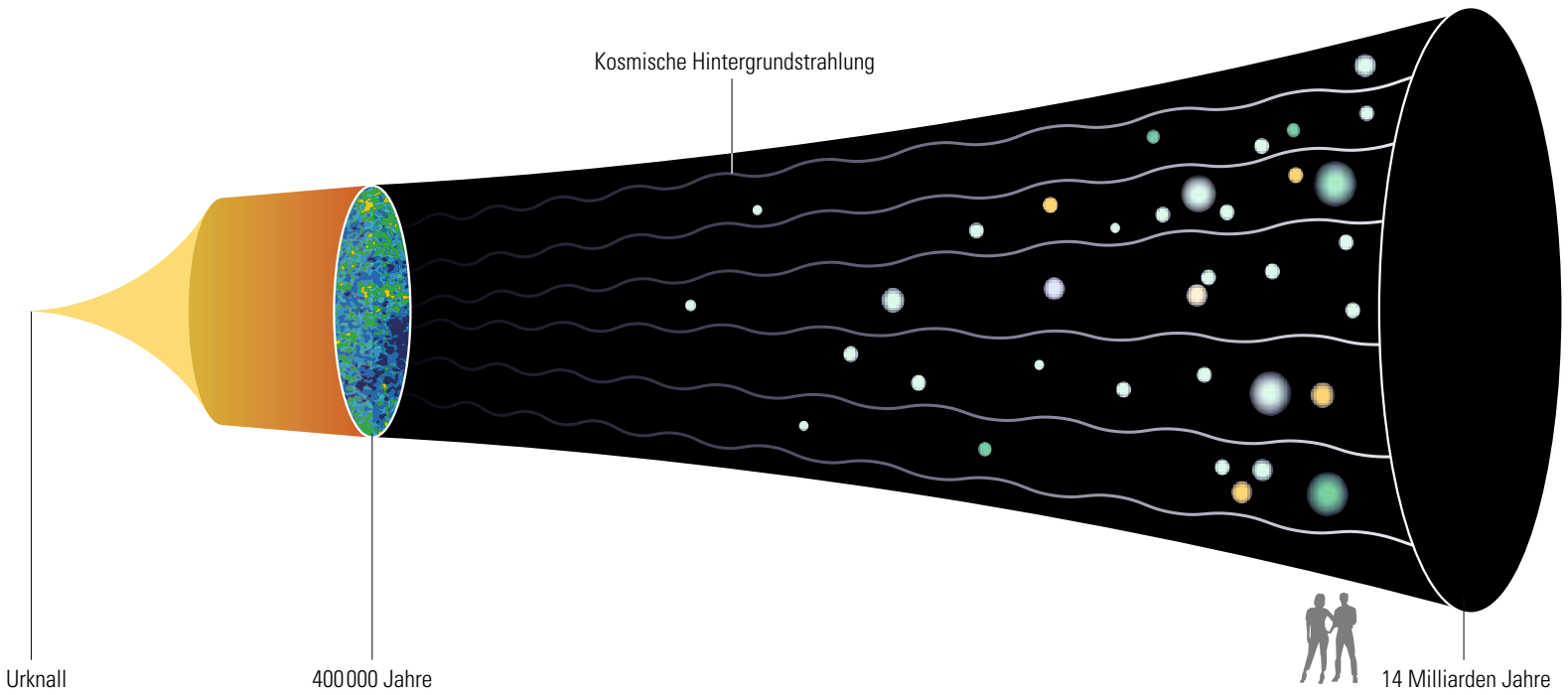
Ganz sicher waren sich die beiden Forscher allerdings noch nicht. Erst als sich im Juli 1995 eine weitere Möglichkeit ergab, das Licht von 51 Pegasi zu analysieren, wichen die letzten Zweifel. Das Sternenlicht schwankte mit der gleichen, Amplitude, Phase und Periode wie bei den ersten Beobachtungen. Damit schieden alternative Erklärungen aus. Am 6. Oktober stellten sie ihre Ergebnisse an einem Workshop in Florenz der Fachwelt vor und lösten damit einen beispiellosen Medienrummel aus.

Die Astronomen Michel Mayor (links) und Didier Queloz (ganz rechts) mit ihrem italienischen Kollegen Francesco Pepe vor einem Teleskop im Observatorium von La Silla in Chile. L. WEINSTEIN / LEEMAGE / IMAGO

Was die kosmische Hintergrundstrahlung verrät

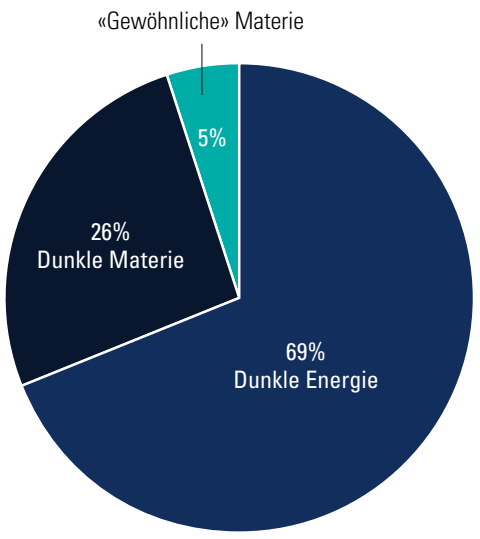
Die Entstehung und Entwicklung unseres Universums

Im Moment des Urknalls war das Universum sehr heiss und dicht, doch seither dehnt es sich aus und wird kälter. Rund 400 000 Jahre nach dem Urknall begann sich die kosmische Hintergrundstrahlung im Universum auszubreiten. Sie enthält – ähnlich wie ein Fingerabdruck – Informationen über den Urzustand unseres Universums.



QUELLE: NOBELPRIZE.ORG

Peebles sagte mittels theoretischer Überlegungen die Form des Universums voraus und berechnete, wie viel Materie und Energie das Universum enthält. Seine Berechnungen stimmten mit dem überein, was später anhand der kosmischen Hintergrundstrahlung experimentell ermittelt wurde.



Wie der Kosmos wurde, was er ist

Der Kanadier James Peebles ist einer der Geburtshelfer der modernen Kosmologie

FELICITAS MOKLER UND HELGA RIETZ (TEXT), EUGEN U. FLECKENSTEIN (GRAFIK)

Dass die Entdeckung Züge eines Wissenschaftskrimis trägt, hat auch mit der Rolle Marcys zu tun. Ausgerechnet dem ärgsten Konkurrenten wurde die undankbare Aufgabe zuteil, die Existenz des extrasolaren Planeten zu bestätigen. Damit nicht genug. Nur wenige Monate nach der bahnbrechenden Entdeckung von Mayor und Queloz fand die Gruppe von Marcy zwei weitere Sterne, um die jupiterähnliche Planeten kreisen. Wie sich herausstellte, waren Marcy und seine Mitstreiter nur deshalb nicht die Ersten, weil sie mit der Auswertung der bereits aufgezeichneten Daten nicht nachgekommen waren.

Nicht wie unser Sonnensystem

Heute ist das nur noch eine historische Randnotiz. Viel wichtiger ist, welche Entwicklung Mayor und Queloz damals angestossen haben. Heute kennen wir ungefähr 4000 extrasolare Planeten in 3000 Planetensystemen, darunter auch einige, die gewisse Ähnlichkeiten mit der Erde aufweisen. Dabei hat sich bestätigt, was sich 1995 bereits angedeutet hatte: Unser Sonnensystem ist in der Milchstrasse eher die Ausnahme als die Regel. Das betrifft nicht nur Planeten wie den Jupiter. Überraschend ist auch, wie häufig in anderen Planetensystemen sogenannte Supererden vorkommen. Das sind Planeten, die irgendwo zwischen den terrestrischen Planeten und den Gasplaneten angesiedelt sind und in unserem Sonnensystem vollkommen fehlen.

Das ist aber erst der Anfang. Mit einer neuen Generation von Teleskopen ist die Erkundung der extrasolaren Planeten inzwischen in eine neue Phase eingetreten. Ging es bisher vor allem darum, diese Planeten hinsichtlich Grösse und Masse zu klassifizieren, interessiert man sich nun vermehrt für deren Eigenschaften. Über allem schwebt dabei die eine Frage: Könnte es sein, dass sich auch auf anderen Planeten Leben entwickelt hat? Oder ist unser Sonnensystem auch in dieser Hinsicht ein Einzelfall?

Eine Antwort hofft man zu finden, indem man die Atmosphäre von extrasolaren Planeten analysiert, auf denen es im Prinzip flüssiges Wasser geben könnte. Hier sucht man nach Spurengasen, die auf der Erde mit biologischen Prozessen in Verbindung gebracht werden. Die Entdeckung von Mayor und Queloz sollte allerdings eine Warnung sein. Bei der Suche nach Biosignaturen sollte man sich nicht allzu fest auf das verlassen, was man kennt. Sonst könnte man das Wesentliche übersehen.

Im Jahr 1964 gab es keinen Zweifel mehr an dieser Erkenntnis, die in all ihrer existenziellen Unfassbarkeit heute selbstverständlich ist: Unser Universum muss in einem Urknall entstanden sein; einem Urknall, bei dem alles, was ist, in einem Punkt unendlich dichter Energie seinen Anfang nahm.

Die endgültige Bestätigung dafür lieferten Arno Penzias und Robert Wilson, als sie mit den Antennen der Bell-Laboratories eine diffuse Mikrowellenstrahlung auffingen. Sie schien aus allen Richtungen des Universums zu kommen. Übersetzte man die Energie dieser Strahlung in eine Temperatur (je energetischer, desto heisser), dann entsprach diese omnipräsente Strahlung knapp drei Kelvin – unglaublich kalten minus 270 Grad Celsius. Tatsächlich hatten Penzias und Wilson nicht weniger als das Abbild einer Epoche rund 400 000 Jahre nach dem Urknall aufgespürt. Zu diesem Zeitpunkt war das Universum so weit expandiert und abgekühlt, dass sich Elementarteilchen zu Atomen vereinen konnten. Erst jetzt konnte elektromagnetische Strahlung das Universum durchqueren. Die Überreste dieser frühen Strahlung beobachten wir heute als kosmische Hintergrundstrahlung.

Diese Entdeckung gab den Startschuss für die moderne Kosmologie: Kaum überprüfbare Spekulationen machten Platz für einen neuen Wissenschaftszweig, in dem theoretische Modelle und präzise Messungen Hand in Hand gehen. Was man damals bereits wusste: Wenige Hunderttausend Jahre nach dem Urknall müssen sich in der nahezu gleichmässig verteilten Urmaterie eine Art Kondensationskeime gebildet haben, die im Lauf der Zeit zu den Strukturen unseres heutigen Universums – Galaxien, Sternsysteme und Wolken aus Staub und Gas – heranwuchsen. Doch hätten diese Kondensationskeime nach dem damaligen Stand des Wissens so gross sein müssen, dass die Hintergrundstrahlung um einige Millikelvin hätte variieren müssen – und davon war in den Messdaten nichts zu sehen.

Hier kam Peebles ins Spiel: Er erweiterte die bestehenden Modelle, so dass sie auch die sogenannte kalte Dunkle Materie berücksichtigten. Diese Form von Materie wechselwirkt nicht mit elektromagnetischer Strahlung (das heisst, sie ist unsichtbar), doch sie macht sich über die Schwerkraft bemerkbar. Spielt die Dunkle Materie bei der Strukturbildung im Universum mit, dann reichen die winzigen «Kondensationskeime» aus, um Galaxien zu bilden und all die Strukturen des Universums hervorzurufen, die wir heute kennen, wie Peebles herausfand.

Seither haben Kosmologen die kosmische Hintergrundstrahlung per Satellit immer genauer vermessen. Ende 1989 startete die Nasa ihren «Cosmic Background Explorer» (Cobe), 2001 folgte der Satellit «Wmap» (ebenfalls Nasa) und 2009 «Planck Surveyor» von der ESA. Immer wieder bestätigten die Messungen Peebles Vorhersagen, Stück für Stück festigte sich das Wissen über unseren Kosmos. Vor allem aber zeigen die Daten, dass das Universum gerade einmal zu fünf Prozent aus gewöhnlicher Materie besteht und zu 26 Prozent aus Dunkler Materie. Den Rest steuert die sogenannte Dunkle Energie bei.

James Peebles ist bereits der Fünfte, der für seine Arbeiten zur kosmischen Hintergrundstrahlung einen Nobelpreis in Empfang nehmen darf. Ihm voraus gingen 1978 Penzias und Wilson, 2006 John Mather und Georges Smoot für die Messungen mit Cobe. Und wer dereinst einmal die Frage löst, woraus genau Dunkle Materie besteht, dem dürfte ebenfalls ein Nobelpreis gewiss sein.

Die Universität Genf feiert ihre Forscher

Zum zweiten Mal innert zwei Jahren gewinnen Westschweizer Forscher einen Nobelpreis

ANTONIO FUMAGALLI, GENF

«Wir sind Papst», hiess es in Deutschland einst, als Joseph Ratzinger zum katholischen Oberhaupt gekrönt wurde. Sind wir nun Nobelpreis?, fragt sich also am Tag, an dem die Westschweizer Astronomen Michel Mayor und Didier Queloz – zusammen mit dem Kanadier James Peebles – den Nobelpreis für Physik erhalten. In der Haupthalle der Universität Genf merkt man wenig vom wissenschaftlichen Ritterschlag aus Schweden. «Wer hat was gewonnen?», fragt ein Student und vertieft sich wieder in seine Notizen. Von Euphorie keine Spur.

SMS aus dem ganzen Land

Anders die Stimmung in den Leitungsgremien der Universität Genf. Man sei sich in die Arme gefallen und habe sich gegenseitig gratuliert, als kurz vor Mittag die frohe Kunde eingetroffen sei, erzählt Rektor Yves Flückiger sichtbar stolz. Seit über zwanzig Jahren – Mayor und Queloz haben ihre bahnbrechende Entdeckung 1995 gemacht – habe man jedes Jahr wieder davon geträumt, den Nobelpreis zu gewinnen. Die Hoffnung sei mit der Zeit aber geschwunden, weshalb er seinen Tag diesmal nicht anders als sonst geplant habe – und nun alle Termine absagen musste, sagt Flückiger. Für den Abend hat die Uni spontan ein kleines Fest organisiert, an dem auch der Genfer Staatsrat erwartet wird.

Mit der doppelten Anerkennung bewegt sich die Westschweizer Wissenschaft noch einen Schritt mehr aus dem Schatten der scheinbar übermächtigen Deutschschweizer Universitäten heraus, notabene der Uni und der ETH Zürich. Dass nun nach dem Nobelpreis an Jacques Dubochet von der Uni Lausanne vor zwei Jahren gleich nochmals zwei Westschweizer Forscher mit den höchsten Würden ausgezeichnet werden, sei eine «schöne Anerkennung für den Genferseebogen», sagt Flückiger. Mehr noch als in anderen Landesteilen sei man sich in der Romandie bewusst, dass man durch enge Zusammenarbeit zwischen den Hochschulen die besten Resultate erziele – was sich nicht nur im regen Austausch von Forschern, sondern auch bei teuren Anschaffungen zeige.

Flückiger betont allerdings, dass es keinen Neid oder ungesunde Konkurrenz gebe zwischen den Landesteilen. So habe er heute von zahlreichen Deutschschweizer Forscher- und Rektorenkollegen Glückwunsch-SMS erhalten. Klar ist: Der Nobelpreis wird die Universität Genf in den internationalen Hochschul-Rankings weiter nach vorne katapultieren. «Vielleicht gewinnen wir damit zehn oder fünfzehn Ränge», sagt Flückiger.

Schweizer Teleskop am Start

Als die Nachricht der Königlich Schwedischen Akademie der Wissenschaften eintraf, befand sich Honorarprofessor Mayor – wie auch Queloz – im Ausland. «Allein dies zeigt schon, wie bescheiden er ist. Er hat überhaupt nicht damit gerechnet, den Nobelpreis zu erhalten», sagt David Ehrenreich vom Departement für Astronomie der Uni Genf.

Der Nobelpreis könnte für die gesamte Schweizer Akademie kaum zu einem besseren Zeitpunkt kommen. Noch dieses Jahr wird das Parlament die Beratungen über die BFI-Botschaft 2021–2024 aufnehmen – da haben die Universitäten mit einem taufrischen Nobelpreis im Köcher natürlich gute Argumente im Verteilkampf um die Bildungsgelder. Und auch die Schweizer Astronomie steht vor einem historischen Moment: Das Weltraumteleskop Cheops, an dessen Ausarbeitung und Finanzierung die Schweiz führend beteiligt ist, soll Ende Jahr in den Weltraum geschickt werden. Dessen Mission: bekannte Exoplaneten in der Nähe der Erde zu erforschen – und allenfalls neue zu entdecken. Genauso wie dies Michel Mayor und Didier Queloz gelang.

Schweizer Nobelpreisträger

Preisträger	Jahr	Kategorie
Michel Mayor und Didier Queloz	2019	Physik
Jacques Dubochet	2017	Chemie
Kurt Wüthrich	2002	Chemie
Rolf M. Zinkernagel	1996	Medizin
Edmond H. Fischer	1992	Medizin
Richard Ernst	1991	Chemie
Karl Alexander Müller	1987	Physik
Heinrich Rohrer	1986	Physik
Werner Arber	1978	Medizin
Vladimir Prelog	1975	Chemie
Daniel Bovet	1957	Medizin
Hermann Staudinger	1953	Chemie
Felix Bloch	1952	Physik
Max Theiler	1951	Medizin
Tadeus Reichstein	1950	Medizin

Preisträger	Jahr	Kategorie
Walter Rudolf Hess	1949	Medizin
Paul H. Müller	1948	Medizin
Hermann Hesse	1946	Literatur
Wolfgang Pauli	1945	Physik
Leopold Ružička	1939	Chemie
Paul Karrer	1937	Chemie
Albert Einstein	1921	Physik
Charles Edouard Guillaume	1920	Physik
Carl Spitteler	1919	Literatur
Alfred Werner	1913	Chemie
Emil Theodor Kocher	1909	Medizin
Charles Albert Gobat	1902	Frieden
Elie Ducommun	1902	Frieden
Henry Dunant	1901	Frieden

NZZ / dav.