

Wissen

Rosetta-Mission

Tschurys Wasser ist anders

Es waren nicht Kometen, die der Erde das Wasser brachten. Dieses erste wichtige Resultat der Rosetta-Mission wurde an der Universität Bern präsentiert.

Dölf Barben

Es gab spektakuläre Bilder des Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko, kurz Tschury, und man hat erfahren, dass er nach faulen Eiern und Pferdestall riecht. Die wissenschaftlich entscheidenden Resultate der Rosetta-Mission blieben aber geheim, bis sie nun im Wissenschaftsmagazin «Science» veröffentlicht wurden. Die Berner Physikprofessorin Kathrin Altwegg und Matt Taylor, wissenschaftliche Leiter der Rosetta-Mission und Vertreter der europäischen Weltraumagentur ESA, erläuterten der Presse am Dienstag in Bern die Ergebnisse.

«Today we have our first big result», stand auf einer Folie von Taylor - ein erstes wichtiges Resultat. Eigentlich ist es ein Negativbefund. Denn nun ist klar, dass irdisches Wasser nicht von Kometen wie Tschury stammen kann.

Kerne machen den Unterschied

Das Instrument Rosina, ein Massenspektrometer, das von der Universität Bern entwickelt und gebaut wurde, hat eindeutige Resultate geliefert: Das Wasser, das Tschury ausgast, unterscheidet sich deutlich von irdischem Wasser. Der Anteil des schweren Wasserstoffs Deuterium ist im Kometenwasser mehr als dreimal so hoch. In irdischem Wasser kommen auf 10 000 Wasserstoffkerne 1,5 Deuteriumkerne. Im Tschury-Wasser sind es über 5. Es sei einer der höchsten Deuteriumanteile, die je gemessen wurden, sagte Kathrin Altwegg.

Damit erhält die Frage, woher das Wasser auf der Erde stammt, neue Impulse. Einig ist sich die Forschergemeinschaft, dass zumindest ein Teil des irdischen Wassers von kleinen, wasserhaltigen Himmelskörpern stammt, die auf die Erde gefallen sind. Nicht klar war bisher, welche Himmelskörper das waren. Der Schlüssel für die Lösung dieses Rätsels liegt darin, auf solchen Himmelskörpern den Anteil des schweren Wassers zu messen. Das ist deshalb Erfolg versprechend, weil Deuteriumkerne sehr langlebig sind und weil ihr Anteil davon abhängt, wo sich das zu untersuchende Wasser vor über vier Milliarden Jahren befand, als sich das Sonnensystem bildete.



Das an der Uni Bern entwickelte Massenspektrometer Rosina hat eindeutige Resultate geliefert. Foto: Manu Friederich (Universität Bern)

Als Wasserträger infrage kamen bisher drei Kandidatengruppen: Asteroiden, Kometen, die in der Saturn-Neptun-Region entstanden und später weit draussen in der Oortschen Wolke ihre Heimat fanden, und schliesslich Kometen, die ausserhalb der Neptunbahn im Kuipergürtel ihren Ursprung haben und sich dort befinden. Schon in den 80er-Jahren war klar, dass das Wasser nicht von den Kometen der Oortschen Wolke stammen konnte. Mithilfe von Sonden war es möglich, aus der Distanz den Deuteriumanteil zu messen - er war doppelt so hoch wie bei unserem Wasser. Schon damals waren es Forscher der Universität Bern gewesen, die solche Messungen ermöglicht hatten. Vor wenigen Jahren ergab dann eine Messung beim Kometen

Hartley 2, der wahrscheinlich aus dem Kuipergürtel stammt, überraschenderweise einen ähnlichen Wert wie beim Erdwasser. Die Messung bei Tschury, der ebenfalls ein Kuiperkomet zu sein scheint, zeigt nun, dass es richtig war, nicht mehr ausschliesslich Kometen in Betracht zu ziehen.

Die neuen Erkenntnisse unterstützen laut Kathrin Altwegg Modelle, «die Asteroiden als Lieferanten des Wassers haupt- oder teilverantwortlich machen». Es sei aber auch möglich, dass die Erde einen Teil ihres ursprünglich vorhandenen Wassers als Kristallwasser in Mineralen und an den Polen bewahren konnte. Die hohen Deuteriumwerte im Tschury-Wasser widersprechen auch der Idee, dass die Kometen aus der so-

genannten Jupiter-Familie Wasser enthalten, das dem Erdwasser entspricht.

Die Rosetta-Mission wurde 2004 gestartet, im August 2014 erreichte die Sonde den Kometen, den sie nun weiterhin umkreisen wird. Noch geklärt werden soll, ob kleine Himmelskörper organische Substanzen lieferten, die das Entstehen von Leben beschleunigen. «Wir haben Anhaltspunkte, dass es auf dem Kometen Tschury schwere organische Substanzen gibt», sagt Kathrin Altwegg. «Aber wir können noch nicht sagen, um welche genau es sich handelt.»



Dossier Alles über die spektakuläre Weltraummission

rosetta.tagesanzeiger.ch

«Man müsste eine Schaufel voll Kometenmaterial holen»

Für Kathrin Altwegg, Leiterin des Rosina-Teams, erklären die empfangenen Messwerte einiges. Sie wünscht sich jedoch eine neue Mission.

Mit Kathrin Altwegg sprach Dölf Barben

Was hat Sie an den Ergebnissen von Rosina am meisten überrascht? Mit einem hohen Anteil an schwerem Wasserstoff habe ich gerechnet, aber dass dieser Anteil derart hoch ist, das war überraschend. Damit fällt die Möglichkeit ausser Betracht, dass Kometen das Wasser auf die Erde brachten.

Sind Sie über dieses Ergebnis enttäuscht? Wären Sie froh gewesen, wenn der Komet Tschury...

Der hat das Wasser sowieso nicht gebracht, sonst gäbe es ihn gar nicht mehr. Im Ernst: Diese Resultate passen so besser in mein Weltbild. Der hohe Deuteriumanteil zeigt mir, dass dieser Komet wirklich sehr alt ist. Er hat sich nie aufgelöst und wieder neu zusammengesetzt. Er besteht also aus ursprünglichem Material aus einer ganz, ganz frühen Zeit, möglicherweise ist es noch älter als das Sonnensystem.

Ist es also Material aus früheren Sternexplosionen?

Ja, und dieses Material setzte sich schliesslich in unserem Sonnensystem zusammen. Man stellt sich vor, dass Staubkörner, die mit Eismänteln überzogen waren, sich verdichtet und schliesslich die Kometen gebildet haben - dabei haben sich keine chemischen Vorgänge abgespielt.

Warum ist man sich so sicher, dass es kleine Himmelskörper gewesen sein mussten, die das Wasser auf die Erde brachten?

An den Kratern auf dem Mond sieht man, dass es eine Zeit gab, in der auch die Erde heftig von kleinen Himmelskörpern bombardiert wurde. Die Modelle zeigen, dass die Erde zu Beginn sehr heiss war, dann kam vor ungefähr 3,8 Milliarden Jahren dieses Bombardement, das 50 bis 100 Millionen Jahre



Kathrin Altwegg

Die 62-jährige Physikprofessorin der Universität Bern leitet das internationale Team, welches das Messgerät Rosina der Rosetta-Sonde entwickelt hat.

lang andauerte. 100 Millionen Jahre später hatten wir Leben auf der Erde. Dies alles deutet darauf hin, dass damals Wasser von aussen gekommen ist.

Verändert sich an der Theorie nun etwas, wenn man weiss, dass nicht Kometen, sondern Asteroiden die Wasserträger waren?

Nicht wirklich. Man braucht bloss die Parameter anzupassen und weniger weit entfernte Körper stärker zu berücksichtigen.

Was ist eigentlich der Unterschied zwischen einem Asteroiden und einem Kometen?

Asteroiden befinden sich seit 4,5 Milliarden Jahren in der Nähe der Sonne und haben darum ihr Eis längst verloren. Sie sind nicht mehr so, wie sie ursprünglich waren. Bei Kometen ist das anders. Sie befinden sich die meiste Zeit weit weg von der Sonne und verändern sich dadurch kaum.

Würde man Tschury auf eine nahe Umlaufbahn bringen, sähe er am Ende auch so aus wie ein Asteroid? Ja, mehr oder weniger.

Wohin geht nun die Forschung?

Jetzt sollte man unbedingt eine sogenannte Sample-Return-Mission in An-

griff nehmen, also auf einem Kometen landen, eine Schaufel voll Material nehmen und nach Hause bringen. Denn heute sind wir dort draussen in Bezug auf unsere Möglichkeiten natürlich sehr beschränkt. Wir haben zwar irrsinnig gute Instrumente, aber letztlich bleibt es Massenspektroskopie. Möchte man andere Untersuchungsmethoden anwenden, wie wir sie auf der Erde kennen, zum Beispiel das Röntgen einer Probe, dann funktioniert das nicht. Das wäre das eine.

Und das andere?

Es gibt noch einzelne aktive Asteroiden. Diese enthalten noch heute flüchtiges Material. Zu ihnen müsste man nun fahren und die Deuteriumanteile in ihrem Wasser mit jenen auf der Erde vergleichen.

Also wäre dafür nochmals ein so lange dauerndes Projekt wie jetzt bei Rosetta erforderlich?

Nein, diese Missionen wären viel einfacher durchzuführen. Asteroiden befinden sich viel näher bei der Erde als Kometen. Sie sind auf viel direkterem Weg erreichbar, weil sie auf nahezu kreisförmigen und nicht auf so langgezogenen, elliptischen Bahnen wie Kometen unterwegs sind.

Unser Wasser stammt nicht von «Chury»

Rosetta-Mission Erste wissenschaftliche Resultate des Berner Rosina-Instruments sind da: Messungen auf dem Kometen «Chury» zeigen, dass irdisches Wasser nicht von Kometen stammt - das widerspricht einer früheren Studie

VON MARK WALTHER

Zehn Jahre lang konnte die Astrophysikerin Kathrin Altwegg von der Universität Bern nur hoffen. Hoffen, dass die Raumsonde Rosetta ihren Zielkometen 67P-Tschurjumow-Gerasimenko, kurz «Chury», erreicht, und dass das von ihr entwickelte Messinstrument Rosina Daten von dort draussen liefern würde. Dann kamen die ersten Messwerte, hauptsächlich zur Beschaffenheit von «Churys» Wasservorkommen. Schon im August war Altwegg und ihrem Team klar, dass ein Teil davon «ganz anders als erwartet» ausfiel. Über ihre Erkenntnisse durfte sie bis jetzt nicht reden. Bis jetzt, bis das Wissenschaftsmagazin «Science» heute ihren Artikel veröffentlicht - ausgerechnet an ihrem Geburtstag.

Wasser zerlegen und wägen

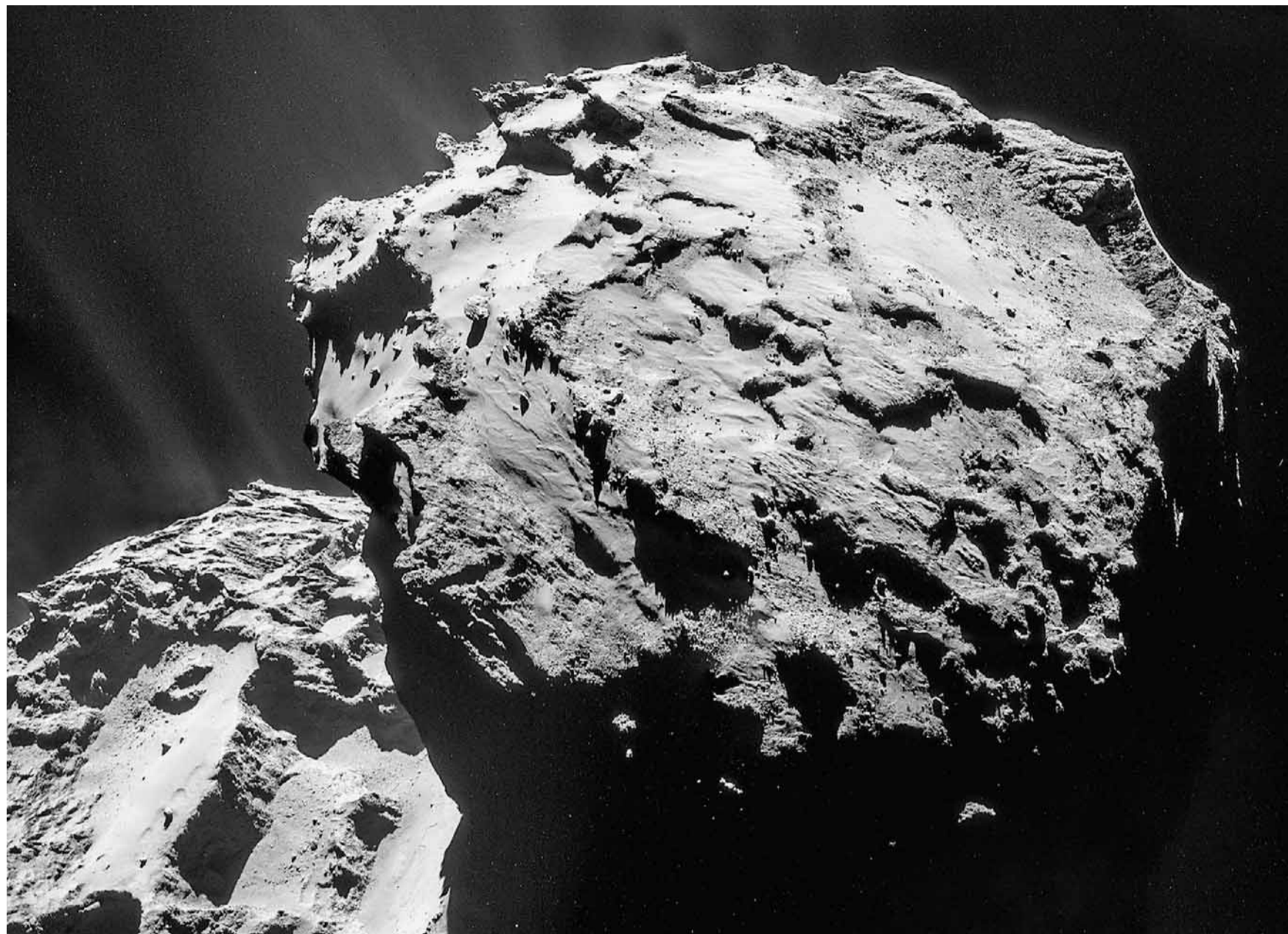
Die Frage, von wo unser Wasser stammt oder ob es seit der Entstehung der Erde hier war, ist heiss diskutiert. Die Erkenntnisse von Altwegg und Co. könnten diese Diskussion noch zusätzlich anheizen. Die Schweizer Forscher haben herausgefunden, dass «Churys» Wasser nicht die gleiche Signatur wie unser eigenes aufweist. Die Erkenntnis daraus: Es waren keine Kometen, die das Wasser auf die Erde gebracht haben.

Um die Signatur aufzuspüren, waren hochpräzise Messungen nötig. Rosinas Massenspektrometer haben das gasförmige Kometenwasser in seine Einzelteile zerlegt, gewogen und die Werte mit irdischem Wasser verglichen. «Churys» Wasser ist demnach ein Schweregewicht: Es enthält dreimal mehr Deuterium als irdisches Wasser. Deuterium ist ein sogenanntes Wasserstoff-Isotop: Im Prinzip das gleiche wie Wasserstoff, nur schwerer, weil Deuterium-Atome neben einem Proton und einem Elektron auch noch ein Neutron enthalten.

Empfindliche Suche

Um Deuterium zu finden, musste Rosina die sprichwörtliche Nadel im Heuhaufen suchen. Denn nur jedes 1000. Molekül des Kometenwassers ist ein Deuterium-Molekül. Diese haben zudem das fast gleiche Gewicht wie andere Moleküle. So unterscheidet sich die Masse von Deuterium und dem ebenfalls im Wasser enthaltenen Fluor erst zwei Stellen hinter dem Komma.

Ein derart hoher Deuterium-Wert wie auf «Chury» wurde laut Altwegg noch nirgends im Universum gemessen. Der Wert überrascht sie, weil andere Kometen, die wie «Chury» im Kuipergürtel jenseits des Neptuns entstanden sind, deutlich weniger Deuterium besässen. Eine Untersuchung des Kometen Hartley 2 hatte im Jahr 2011 sogar noch die Theorie gestützt, dass es Kometen waren, die das Wasser auf die Erde gebracht hatten. Das könne man nun aber ausschliessen, so Altwegg:



Das aktuellste Bild des Kometen «Chury» datiert vom 7. Dezember. Sein Wasservorkommen gleicht so gar nicht jenem der Erde. Das hat die Forscher erstaunt.

ESA

HAYABUSA 2 IST GESTARTET

Asteroid bekommt Besuch von japanischer Sonde

Vergangene Woche ist die japanische Raumsonde Hayabusa 2 zu ihrem vierjährigen Flug zum Asteroiden «1999 JU3» aufgebrochen. Sie wird den erdnahen Himmelskörper voraussichtlich im Juni 2018 erreichen und ihn zunächst vermessen. Danach wird sie den Landeroboter Mascot auf ihm absetzen. Im Gegensatz zu Rosettas Landeroboter Philae ist Mascot fähig, auf dem Weltallbrocken herumzuhüpfen und so an verschiedenen Stellen Messungen vorzunehmen. (MWA)

«Die grosse Spannweite zwischen hohen und niedrigen Deuterium-Werten spricht dagegen, dass Kometenwasser gleich dem Wasser unserer Ozeane ist.»

Wer hat uns denn sonst das Wasser gebracht? Vermutlich erdnahe Asteroiden. Untersuchungen haben gezeigt, dass ihr Wasserreservoir jenem der Erde ähnelt. Ein anderer Teil der lebens-

ermöglichenden Flüssigkeit befindet sich seit der Entstehung der Erde hier; darüber ist sich die Wissenschaft weitgehend einig. Zwar gab es vor vier Milliarden Jahren eine Periode enormer Hitze, die jegliches Wasser auf der Erdoberfläche verdampfen liess. In Mineralien im Untergrund konnte das Wasser diese heisse Phase aber überstehen. Was ebenfalls für diese Theorie spricht: Es hätte zehn Millionen Kollisionen mit Weltallbrocken gebraucht, um den ganzen irdischen Wasservorrat zu importieren. Diese Zahl hält Altwegg für zu hoch.

Datenstrom reisst nicht ab

Rosina habe schon fantastische Arbeit geleistet, sagt Altwegg. Zu Ende ist die Mission aber noch nicht. Das Instrument sammelt auf der Sonde der europäischen Raumfahrtagentur ESA pausenlos Daten. Über eine Antenne in der australischen Hauptstadt Canberra werden sie heruntergeladen, und via das Kontrollzentrum in Darmstadt nach Bern übertragen. Wenn Altwegg die Da-



Kathrin Altwegg.

ten anschaut, sieht sie erst einmal einen Zahlenalat mit lauter Einsen und Nullen. Diesen Code muss der Computer erst in ein Diagramm verwandeln, um die Zahlen für die Analyse bereitzumachen. Pro Tag schickt ihr Team rund 50 Kommandos hinaus zu Rosina, um das Instrument zu bedienen.

Ursprünglich sollte Rosina, genau wie Rosetta, bis Ende 2015 Daten von dem 510 Millionen Kilometer entfernten Himmelskörper liefern. Nun wird über eine Verlängerung der Mission bis im Sommer 2016 nachgedacht. Dann befindet sich Rosetta zu weit weg von der Sonne, um Solarstrom produzieren zu können. Sie müsste zum zweiten Mal in eine Art Winterschlaf versetzt werden, was sich nicht mehr lohnen würde. Zu diesem Zeitpunkt wäre Kath-

rin Altwegg eigentlich schon pensioniert. Die Astrophysikerin hat jedoch andere Pläne: «Ich werde so lange weiterarbeiten, bis die Mission zu Ende geht.»

Rosetta war am 12. November das erste irdische Objekt, das einen Landeroboter erfolgreich auf einem Kometen absetzen konnte. Der Lander Philae untersuchte den Kometen während 64 Stunden und sendete die gewonnenen Daten via Rosetta zur Erde. Dann fiel er aber in einen Ruhezustand, weil er - im Schatten von Felsen stehend - seine Batterien nicht mit Solarstrom aufladen kann.

Die Raumsonde war 2004 vom Welttraumbahnhof Kourou in Französisch-Guayana zu ihrer zehnjährigen Reise durchs All aufgebrochen. 6,6 Milliarden Kilometer später erreichte sie «Chury». Fast drei Jahre ihres Flugs hatte sie in einem künstlichen Tiefschlaf verbracht, um Energie zu sparen.



Mehr Bilder des Kometen sehen Sie online.

Pionierfrau im All und an der Uni

Die Berner Professorin Kathrin Altwegg ist Weltraumforscherin und Frauenförderin

Sie spielt mit ihrem Team von der Universität Bern eine wichtige Rolle bei der Mission der Kometensonde Rosetta. Als Wissenschaftlerin setzt sich die Physikerin Kathrin Altwegg aber auch intensiv für die akademische Frauenförderung ein.

Alois Feusi

Den naturwissenschaftlichen Unterricht im Gymnasium hatte Kathrin Altwegg immer gemocht, und sie war auch eine gute Schülerin. Archäologin wollte die Arzttochter aus Balsthal damals werden. Deshalb lernte sie neben Griechisch und Latein im Freifach Hebräisch. Kurz vor der Matura habe sie sich dann allerdings entschieden, an der Universität Basel Festkörperphysik zu studieren, erzählt die mittlerweile 62-jährige Titularprofessorin – beziehungsweise «associate professor», wie das in Anlehnung an amerikanische akademische Gepflogenheiten heisst – am Physikalischen Institut der Universität Bern. «Archäologie lässt sich ja auch als Hobby betreiben, dachte ich mir. Mit der Physik ist das nicht möglich.»

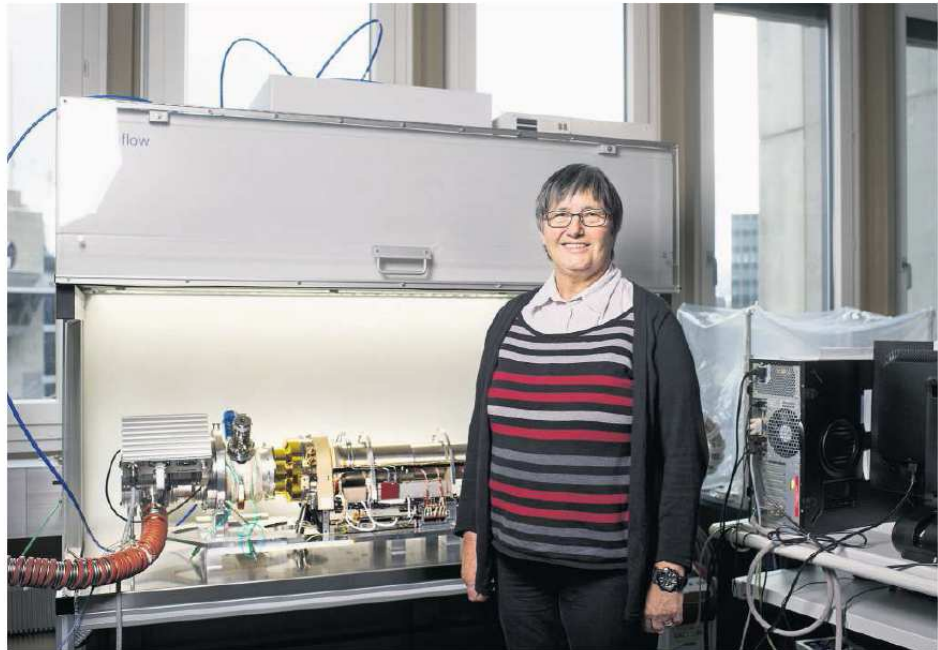
Stinker aus dem Kuiper-Gürtel

Inzwischen sind ihre wissenschaftlichen Leidenschaften vereint. Als Leiterin des Teams, welches das Rosina-Massenspektrometer der europäischen Kometensonde Rosetta konstruierte und seit einigen Tagen auch dessen erste Messergebnisse auswertet, betreibt Kathrin Altwegg gewisse massen kosmische Archäologie. Vor einigen Tagen gab ihre Forschergruppe erste Erkenntnisse bekannt. Auf seinem Weg Richtung Sonne stösst der Komet Tschurjumow-Gerasimenko Gase wie Methanol, Schwefelwasserstoff, Ammoniak und Formaldehyd aus. Kurz: Der gefrorene Bote aus dem Kuiper-Gürtel am Rande des Sonnensystems stinkt wie die Pest.

Dass sie dereinst bei der Astronomie landen würde, hätte Katrin Altwegg nie gedacht. Nach dem Doktorat in Basel zog sie mit ihrem späteren Ehemann Laurenz, gleichfalls Physiker und heute Professor für Telekommunikation an der Freiburger Hochschule für Technik und Architektur, in die USA und beschäftigte sich an der New York University mit physikalischer Chemie.

Projektmanagerin von Rosina

Als das Paar nach einigen Jahren wieder in die Schweiz zurückkehrte, bewarb sie sich in Bern bei Professor Johannes Geiss für eine Post-Doktorats-Stelle. Sie arbeitete bei der Auswertung der Daten der Europäischen Raumsonde Giotto



Vertraute Nähe: Kathrin Altwegg neben dem Rosina-Massenspektrometer der europäischen Kometensonde Rosetta. SIMON TANNER / NZZ

mit, die 1986 am Kometen Halley und 1992 an dessen sehr viel kleinerem Cousin Grigg-Skjellerup vorbeiflog und Messungen vornahm. Geiss' Nachfolger Hans Balsiger schliesslich machte sie 1996 zur Projektmanagerin von Rosina.

Mädchen die Angst nehmen

In ihrer Gruppe arbeiten vier Physikerinnen und zwei Physiker sowie ein Softwareingenieur und ein Laborant. Zusammen mit der Chefin sind die Frauen in der Mehrzahl: eine Konstellation, die Seltenheitswert hat in der Welt der Physik. Kathrin Altwegg hatte seinerzeit als einzige Frau an der Universität Basel Physik studiert. 1980 doktorierte sie bei der ersten Basler Physikprofessorin Iris Zschokke, die ihrerseits 20 Jahre zuvor dissertiert hatte und bis zu Altweggs Eintritt die einzige Frau am Physikalischen Institut war.

Im Berner Institut studieren heute 10 bis 15 Prozent Frauen. «Das ist noch nicht der Haufen», sagt Altwegg. Aber sie arbeitet stetig daran, den Frauenanteil in der naturwissenschaftlichen Forschung zu steigern. Sie engagiert sich bei den von der Abteilung für Gleichstellung der Universität Bern organisierten Informationstagen in den frauenschwachen Disziplinen Physik, Mathematik, Chemie und Geologie. Sie veranstaltet Informationstage für Gym-

nasiastinnen, an denen ehemalige Studentinnen Altweggs wie etwa die Crashtest-Spezialistin Bettina Zahnd von ihrem Arbeitsalltag und den Berufsaussichten für Physikerinnen sprechen. Sie macht beim «Ferienspass» der Stadt Bern mit und bastelt mit den Kindern Raketen, Kometen und drückt dabei den Mädchen auch schon einmal einen

PUNKTLANDUNG AUF EISBROCKEN

fsi. · Am kommenden Mittwoch um 9 Uhr 35 MEZ soll das Landelabor Philae rund 20 Kilometer von Tschurjumow-Gerasimenko entfernt von der Sonde Rosetta abgekoppelt werden und knapp sieben Stunden später auf dem Kometen aufsetzen. Danach wird Philae mit zehn verschiedenen Instrumenten die physikalisch-chemische Zusammensetzung des kosmischen Eisbrockens untersuchen. Die Europäische Raumfahrtagentur ESA gibt die Mindestbetriebsdauer des Landelabors mit 64 Stunden an. Es handelt sich um das erste derartige Manöver in der Geschichte der Raumfahrt. Eine entscheidende Rolle beim Aufsetzen und Verankern von Philae auf dem Himmelskörper mit sehr geringer Schwerkraft spielt das von der Realtechnologie AG in Oberrieden im Kanton Zürich konstruierte Triebwerk (NZZ 5. 8. 14).

LötKolben in die Hand. «Es geht darum, ihnen die Angst vor der Technik und der Wissenschaft zu nehmen.»

Wichtig ist ein guter Chef

Der Erfolg gibt ihr recht. Inzwischen beginnen in Bern jedes Jahr mehrere junge Frauen ein Physikstudium. Auch ihre beiden Töchter nahmen sich das Vorbild der Mutter zu Herzen: die eine ist Materialwissenschaftlerin, die andere Mathematikerin. Als 1985 ihr erstes Kind zur Welt kam, reduzierte Kathrin Altwegg ihr Pensum auf 50 Prozent, nach der Geburt der jüngeren Tochter ging sie auf 25 Prozent zurück. Damals arbeitete sie vor allem an der Datenauswertung von Giotto, was sich bestens zu Hause machen liess. 1996 steigerte sie wieder auf 50 Prozent. «So kann man als Wissenschaftlerin und Mutter gut arbeiten. Und Professor Balsiger hat mich stets stark unterstützt.»

Was rät eine Wissenschaftlerin und Mutter jungen Frauen, die ebenfalls Familie und Forschung unter einen Hut bringen möchten? «Die richtige Chefin oder den richtigen Chef finden, welche die Teilzeitarbeit unterstützen, und zwar auch bei Führungspersonal.» Wichtig sei vor allem, dass sich die Frauen etwas zutrauen. «Die Eltern müssen ihren Töchtern von klein auf helfen, Selbstbewusstsein aufzubauen.»

Wissen

«Ich möchte nicht dort landen müssen»

Die Berner Forscherin Kathrin Altwegg fiebert der ersten Landung auf einem Kometen entgegen. Ihre Horrorvorstellung sei, dass der Untergrund aus Schnee und Eis wie eine Art Crème brûlée aufgebaut sei und der Lander versinke.

Mit Kathrin Altwegg sprach Barbara Reye

Heute Nachmittag soll erstmals in der Geschichte der Raumfahrt ein von Menschen geschaffenes Gerät auf einem Kometen landen. Sind Sie nervös?

Langsam schon. Schliesslich war die Raumsonde Rosetta über zehn Jahre im Weltall unterwegs, um den Kometen Tschury zu erreichen. Dabei hat sie eine Strecke von mehr als sechs Milliarden Kilometern zurückgelegt, was etwa 40-mal der Entfernung von der Erde zur Sonne entspricht. Und nun läuft der Countdown zur Landung. Das ist quasi das i-Tüpfelchen der bisher sehr erfolg-



Kathrin Altwegg
Die 62-jährige Physikerin leitet das internationale Team, welches das Messgerät Rosina entwickelt hat.

reichen Mission. Wenn alles nach Plan läuft, soll Rosetta den Lander Philae heute Morgen abwerfen.

Wo sind Sie, wenn das letzte Kommando vom Kontrollzentrum der ESA in Darmstadt an Rosetta verschickt wird?

Ich sitze im Zug nach Darmstadt. Das ist auch gut so, da man während dieser Zeit sowieso nur noch die Daumen drücken kann. Es ist äusserst erfreulich, zu sehen, wie gut die Leute in Darmstadt die Sonde bisher im Griff haben und wie präzise sie diese auf die Umlaufbahn des Kometen gelenkt haben. Man muss sich immer vorstellen, dass ein solches Manöver nicht wie bei einem Satelliten in Erdnähe abläuft, sondern 500 Millionen Kilometer von uns entfernt stattfindet. Eine Pionierleistung, die einfach unglaublich ist.

Der vier Kilometer lange Komet rast mit einer Geschwindigkeit durchs All, die 20-mal schneller ist als eine Geschwindigkeit. Wie ist es möglich, auf einem solchen Objekt zu landen?

Das ist sehr heikel. Die Chancen stehen 50:50. Rosetta muss zuerst ihre Düsen zünden und vom bisherigen Kurs abkommen. Dabei soll sie fast im rechten Winkel aus ihrer Umlaufbahn abbiegen und über Tschury fliegen. Auf einer Höhe von 22,5 Kilometern stösst sie dann den Lander Philae um 9.35 Uhr ab, sodass dieser rund sieben Stunden später auf dem eisigen Himmelskörper auftrifft, der auch noch eine sehr ungewöhnliche Form hat. Ob alles geklappt hat, wird man aufgrund der Verzögerung des Funksignals in Darmstadt erst gegen 17 Uhr erfahren. Ganz genau lässt sich der Zeitpunkt der Landung nicht berechnen, weil zum Beispiel die Menge der vom Kometen ausdünstenden Gase und Staubpartikel nicht bekannt ist. Sie erzeugen Widerstand und bremsen den ein Meter grossen Philae.

Was kann auf Tschury schief laufen?
Im Prinzip sehr viel. Ehrlich gesagt, möchte ich nicht dort landen müssen. Es hat auf der Oberfläche Spalten, Löcher, Abhänge und vor allem sehr viele Brocken. Auf der ein Quadratmeter grossen Landefläche Agilkia liegen rund 4000 ein Meter grosse Eisklumpen herum. Dennoch ist es der beste Ort, da es nicht zu viel und auch nicht zu wenig Sonne hat. Schliesslich müssen die Solarzellen den Betriebsstrom liefern.

Kann Philae im Pulverschnee versinken?

Das ist das nächste Problem. Wir wissen nicht, wie weich oder hart die Oberfläche ist. Im schlimmsten Fall sinkt er ein und wird von Staub überdeckt. Meine Horrorvorstellung ist, dass der Untergrund aus Schnee und Staub ähnlich wie eine Art Crème brûlée mit einer dünnen Zuckerschicht aufgebaut ist. Dann meint der Lander, es sei hart, und zündet die Kaltgasdüsen, sodass er dadurch noch weiter in die Tiefe gedrückt wird. Doch



Überbleibsel aus der Urgeschichte unseres Sonnensystems: Heute ist Philaes Landung auf Tschury geplant. Foto: ESA

auch wenn dies passiert, werden wir viel gelernt haben.

Was denn?

Wir wissen zum Beispiel mehr über die Dicke und Beschaffenheit der Oberfläche. Jeder Komet ist zwar anders und hat eine andere Geschichte hinter sich. Aber dennoch sind sie allesamt vor 4,6 Milliarden Jahren aus dem gleichen Urmaterial wie unsere Sonne und die Planeten entstanden. Weil sie sich zudem im Laufe der Zeit kaum verändert haben, sind sie wichtige Überbleibsel aus der Urgeschichte unseres Sonnensystems.

Wenn Philae in eine Gletscherspalte fällt, ist die 1,3 Milliarden Euro teure Mission dann nicht doch irgendwie gescheitert?

Nein, auf keinen Fall. Natürlich ist die Landung ein Höhepunkt, und man betritt Neuland damit. Doch die Raum-

sonde Rosetta würde auch nach einem tragischen Absturz des Landers weiterhin dort bleiben. Philae ist zwar etwas ganz Besonderes, doch nur eins von zehn Instrumenten. So landet etwa auch das von uns entwickelte Messgerät Rosina nicht auf Tschury.

Sie haben herausgefunden, dass der Schweiß des Kometen geradezu stinkt. Wonach?

Zum Beispiel nach Ammoniak, der den typischen, stechenden Geruch im Urin erzeugt. Oder Schwefelwasserstoff, der nach faulen Eiern stinkt. Wir haben aber auch Blausäure entdeckt, die nach Bittermandeln riecht. Darüber hinaus haben wir erstmals auch Benzol auf einem Kometen gefunden, das mit seiner Ringstruktur ein wichtiger Baustein der organischen Chemie ist. Es ist beeindruckend, wie viele Moleküle damals schon vorkamen. Wir kommen mit der Analyse der Daten gar nicht mehr hinterher. An

Ferien ist im nächsten Jahr erst einmal nicht zu denken.

Haben Sie auch Aminosäuren entdeckt?

Bisher noch nicht, da wir zuerst leichtere Moleküle untersuchen. Wenn wir alles zusammenhaben, lässt sich hoffentlich besser erklären, wie die Bausteine von Leben auf unseren Planeten kamen oder wie die Meere entstanden sind. Die Theorie besagt, dass etwa das Wasser durch ein Bombardement von Kometen, also schmutzigen Schneebällen, auf die Erde gekommen sein könnte.

Sind die Rosetta-Forscher eine eingeschworene Gemeinschaft?

Wir arbeiten eng zusammen, freuen uns über alle Erfolge, sind aber im Moment auch Konkurrenten. Denn die Beobachtungszeit dort oben ist sehr kostbar. Wer darf wann machen? Es ist wie mit Geschwistern: Man gehört zusammen, streitet aber trotzdem.

Wenn die Landung glückt und die Elektronik nicht verrückt spielt, wie lang kann Philae arbeiten?

Auf Tschury herrschen derzeit Temperaturen von minus 50 bis minus 170 Grad Celsius. Weil der Komet der Sonne immer näher kommt, wird es irgendwann gegen null Grad gehen. Dies ist viel zu warm für den kälteresistenten Philae, sodass er einen Hitzetod stirbt. Seine Bauteile werden zu heiss, und die Batterie lässt sich nicht mehr aufladen.

Und was ist mit Rosetta?

Rosetta teilt das Schicksal des Kometen. Sie ist und bleibt auf der Bahn von Tschury, auch wenn dieser weiterhin an Masse verliert und im August 2015 der Sonne am nächsten ist. Rosetta wird mindestens bis Dezember 2015 in Betrieb bleiben. Wenn wir dann noch genug Treibstoff haben, sogar noch etwas länger. Im August 2016 ist sie dann so weit von der Sonne weg, dass sie wieder im Energie sparenden Schlafmodus schlummern müsste. Und irgendwann würde die Nähe zu Jupiter sie gemeinsam mit Tschury vermutlich ganz aus unserem Sonnensystem katapultieren. Doch dies ist in ferner Zukunft und somit noch Science-Fiction.

Historische Landungen Sieben Reisen ins Ungewisse

Die Eagle, die Mondlandefähre der Apollo 11, landet am 16. Juli 1969 auf dem Mond. Der Kommandant der amerikanischen Nasa-Mission, Neil Armstrong, ist der erste Mensch, der einen fremden Himmelskörper betritt. Zehn Astronauten hinterlassen in den folgenden dreieinhalb Jahren ihre Fussspuren auf dem Mond. Russland setzte bereits Jahre vorher, am 3. Februar 1966, die erste unbemannte Raumsonde auf dem Mond ab, Luna 9. Später folgten weitere Lander.

Venera 7 des russischen Planetenerkundungsprogrammes setzt am 15. Dezember 1970 auf der Venus auf. 23 Minuten lang sendet sie Daten zur Erde. Später landeten weitere Sonden auf dem Planeten und lieferten Daten und Bilder - und das bei einer Aussen-temperatur von rund 482 Grad Celsius und einem Atmosphärendruck, der über 90-mal höher ist als auf der Erde.

Near Shoemaker trifft am 12. Februar 2001 auf den Asteroiden 433 Eros auf. Der Himmelskörper gehört zu den grössten erdnahen Asteroiden. Der Nasa gelang zum ersten Mal, einen Asteroiden zu umkreisen und auf ihm zu landen. Röntgen- und Infrarotinstrumente und andere Messgeräte liefern Daten, die helfen, mehr über die Zusammensetzung und den Ursprung von Asteroiden und Kometen zu erfahren.

Spirit landet am 3. Januar 2004 auf dem Mars, am 24. Januar folgt der zweite Pathfinder Opportunity auf dem Roten Planeten. Jahre später, am 6. August 2012, setzt ein weiteres Fahrzeug auf dem Mars auf. Curiosity ist weit besser mit wissenschaftlichen Instrumenten ausgerüstet als die Vorgänger. Das Ziel: eindeutige Spuren zu entdecken, die auf Wasser und damit auf mögliches Leben auf dem Planeten hindeuten.

Huygens erreicht am 14. Januar 2005 den Saturnmond Titan. Der Lander gehört zur Cassini-Huygens-Mission, an der die Nasa, die Europäische Weltraumorganisation (ESA) und die italienische ASI beteiligt sind. Der Auftrag der Sonden: das Saturnsystem erkunden, den Planeten und seine Atmosphäre, die Ringe und die Magnetosphäre.

Hayabusa, die Raumsonde der japanischen Weltraumagentur Jaxa, landet am 12. September 2005 auf dem Asteroiden Itokawa. Der Flug zum Himmelskörper war gut zwei Jahre und eine Milliarde Kilometer lang. Das Raumfahrzeug dokumentiert die ungewöhnliche Form des Asteroiden. Im Dezember 2009 bringt Hayabusa kleinste Partikel des Asteroiden zurück auf die Erde.

Chang'e-3 setzt am 7. Dezember 2013 auf dem Mond auf. Zum ersten Mal landet ein chinesisches Raumschiff auf dem Erdtrabant.
Martin Läubli

Zeitplan

Die Landung live verfolgen

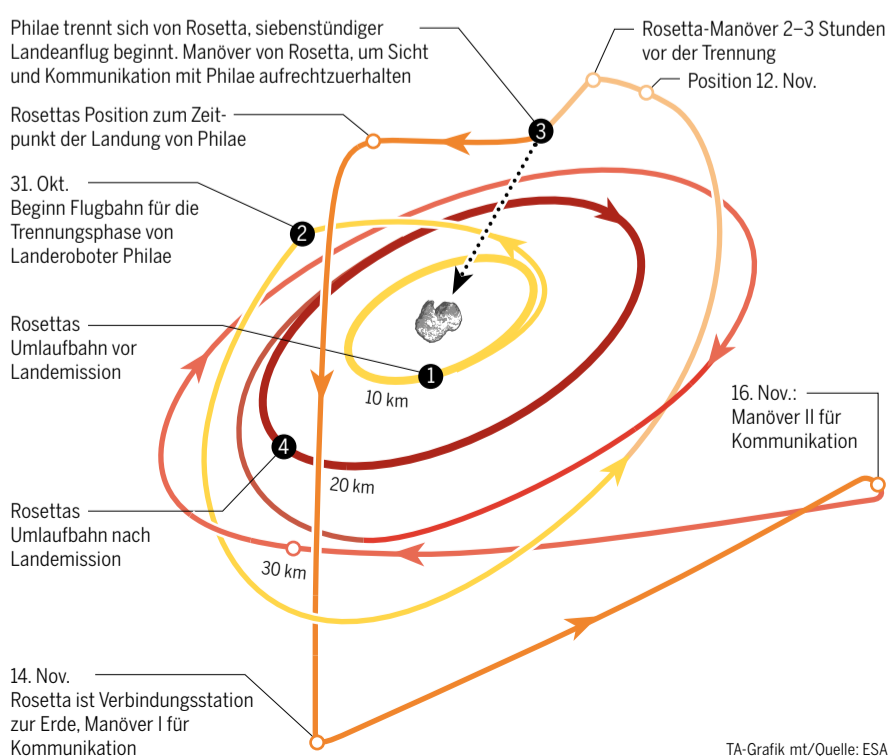
Das Kontrollzentrum des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt hat heute Morgen die Einschaltung der Instrumente des Landeroboters Philae eingeleitet.
8 Uhr: Das ESA-Kontrollzentrum in Darmstadt gibt das «Go» für die Trennung von der Raumsonde Rosetta.
9.35 Uhr: Philae trennt sich von Rosetta ab.
15.54 Uhr: Frühester Zeitpunkt für die Landung.
16.33 Uhr: Erwarteter Zeitpunkt für die Landung.
Der «Tages-Anzeiger» ist mit einem Liveticker online dabei. Zudem kann die Landung auf www.esa.int verfolgt werden.



Video Diese spektakuläre Flugbahn legt Rosetta zurück

flugbahn.tagesanzeiger.ch

Rosettas spektakuläre Flugbahn



Wissen

Countdown zur Kometenlandung

Der einsamste Roboter

Nach einer mehr als zehnjährigen Reise ist Philae am Mittwoch am Ziel. Der Roboter soll den Kometen Tschury erforschen - sofern die heikle Landung gelingt.

Walter Jäggi

Der Weg war lang und kompliziert: 6,5 Milliarden Kilometer in zehneinhalb Jahren musste Philae an Bord der Raumsonde Rosetta zu seinem Arbeitsplatz reisen. Nächsten Mittwoch soll der Roboter, 500 Millionen Kilometer von der Erde entfernt, auf den Kometen 67P Tschurjumow-Gerasimenko, kurz: Tschury, abgesetzt werden.

Zum ersten Mal werden die Astronomen direkt von der Oberfläche eines Kometen Informationen erhalten. Der Einsatz des Landegeräts kann nicht von der Erde aus ferngesteuert werden. Die Funksignale brauchen zwischen der Erde und dem Kometen fast eine halbe Stunde pro Weg. Die Kommunikation über eine derart grosse Distanz ist heikel, die Antennen der Funkstationen auf der Erde - in Argentinien und Australien - müssen auf ein Millionstelgrad genau gerichtet werden, um die sehr schwachen Signale der Rosetta-Antenne zu empfangen. Das Funksystem kann die Position der Raumsonde auf den Meter genau ermitteln, diese fand ihr Ziel selber durch Auswertung der Sternbilder mit einer Bordkamera.

Philae ist bei seiner Arbeit auf sich gestellt beziehungsweise auf Programme angewiesen, die ihm von der Erde aus zugespielt worden sind. «Der letzte Moment vor der Landung, in dem wir vom Boden aus noch eingreifen können, liegt 7 Stunden und 15 Minuten vor der Trennung vom Orbiter, ab dann läuft alles vollständig automatisch», erklärt Stephan Ulamec, der für Philae zuständige Projektleiter beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Vom DLR-Kontrollzentrum in Köln aus wird Philae überwacht und programmiert.

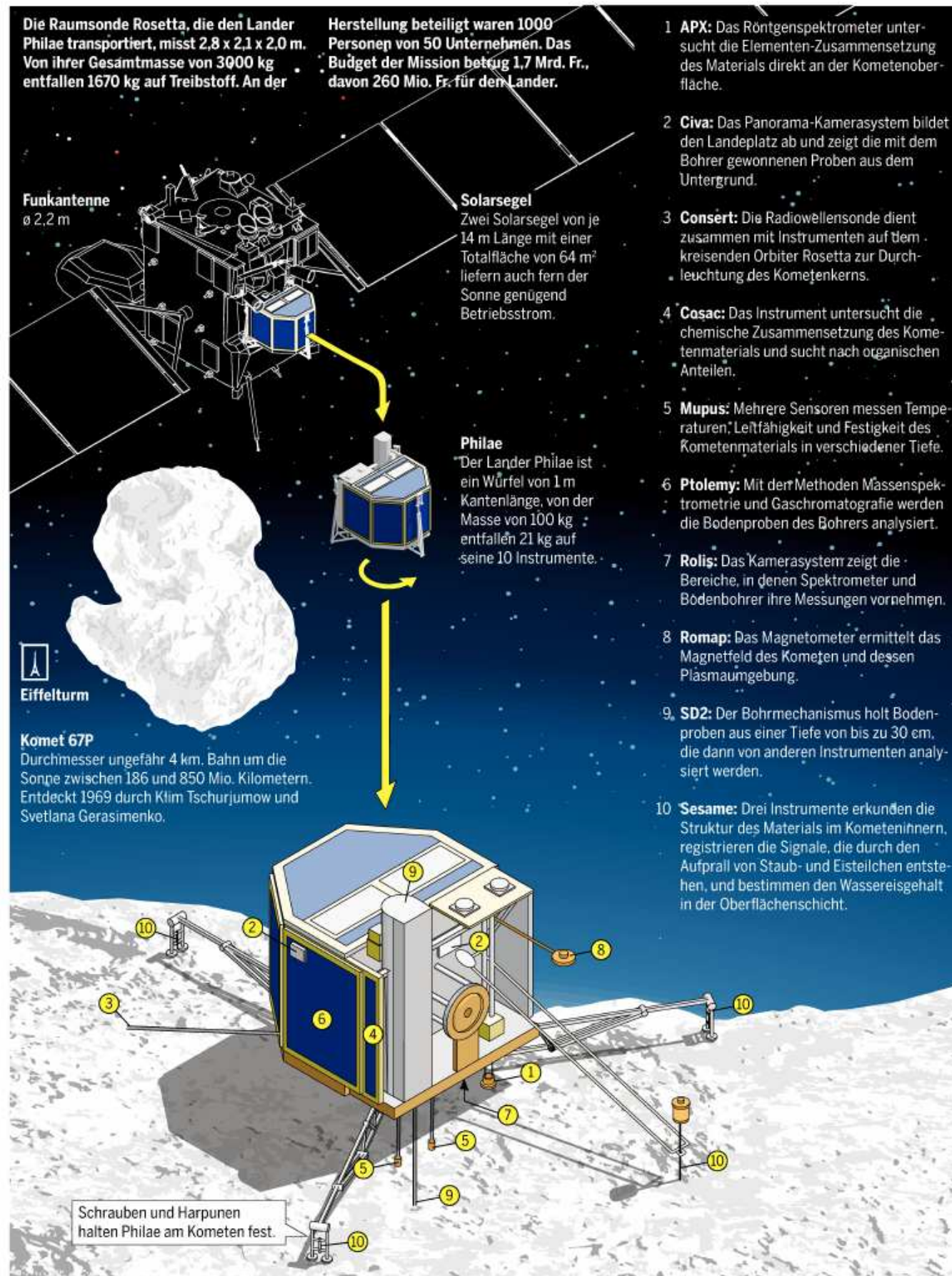
Das Landemanöver beginnt, wenn Philae aus dem Rosetta-Orbiter geschossen wird. Der Landeroboter wird auf den Kometen hinunterfallen, was aber ganz anders abläuft als ein freier Fall auf der Erde. Der Komet, ein unregelmässig geformter Brocken von nur etwa vier Kilometern Durchmesser, hat eine geringe Anziehungskraft. Der auf der Erde 100 Kilogramm schwere Philae, ein Würfel von etwa einem Meter Kantenlänge, wiegt auf dem Kometen nur ein paar Gramm. Der Fall vom Orbiter einige Kilometer tief auf die Oberfläche wird mehrere Stunden dauern und sich im Zeitlupentempo von Zentimetern pro Sekunde abspielen.

Gefahr des Wegschleuderns

Der erste Bodenkontakt wird ein kritischer Moment sein. Nicht dass der Roboter zerschellen könnte, ganz im Gegenteil, er könnte als Leichtgewicht einfach vom Kometen wegspringen. Schrauben an seinen drei Füssen, Harpunen, die sofort in den Boden geschossen werden, sollen ihn vor dem Wegfliegen sichern. Wo genau er auftritt, wissen die Forscher nicht. Die Bodenbeschaffenheit ist unbekannt, Felsen, Gletscherspalten, Gasströme oder Staub könnten das Manöver stören. Eine Schiefelage von Philae liesse sich korrigieren, sofern er nicht gerade kippt, im Übrigen sind die Möglichkeiten der Kontrollstation begrenzt.

Bereits während des Abstiegs beginnen automatisch die ersten Philae-Experimente zu laufen. Kameras erfassen den Landeplatz und den Horizont und liefern eine 360-Grad-Darstellung der Kometenlandschaft, eine Premiere der Raumfahrt. Einmal sicher gelandet und fixiert, fokussiert Philae eine Kamera auf eine Distanz von 30 Zentimetern und macht Nahaufnahmen des Kometenbodens. Automatisch oder auf Kommando der Zentrale in Köln starten dann die weiteren Untersuchungen. Die Arbeiten sollen während einiger Monate fortgesetzt werden, sofern die Solarzellen genügend Strom für den Betrieb

Kometenlander Philae



hergeben. Die Sonne liefert in der grossen Distanz nur etwa 10 Prozent der Energie, die auf der Erde genutzt werden könnte. Da die Aussentemperatur auf dem Kometen zwischen minus 50 und minus 170 Grad Celsius schwankt, wird die Energie an Bord von Philae etwa zum Heizen einiger Bereiche gebraucht - für die Funkverbindung zu Rosetta oder den Betrieb des Bohrers, der Bodenproben bis aus 30 Zentimeter Tiefe entnehmen soll.

An Bord von Philae sind zehn wissenschaftliche Experimente. Einige dienen der Analyse des Materials, aus dem der Komet besteht. 67P stammt sehr wahrscheinlich aus der Oortschen Wolke. Darunter verstehen die Astronomen eine breite Zone, die weit draussen im All wie eine Kugelschale das gesamte Sonnensystem umgibt. Dort muss es Millionen oder Milliarden von grossen und kleinen Kometen geben, Reste aus der

beobachtbar ist die Oortsche Wolke bisher nicht; wenn sich ein Komet von dort in unsere Nähe verirrt, ergibt sich die Chance, den Urstoff, aus dem die Planeten bestehen, zu untersuchen.

Da Komet Tschurjumow-Gerasimenko wohl während 4,6 Milliarden Jahren in der Kälte des Alls unterwegs war, ist der Zustand der Materie, der sich seither auf den Planeten stark verändert hat, im Kometen tiefgefroren konserviert. Eine andere Reihe von Experimenten von Philae soll genauere Informationen über den Kometen liefern. So wird mit Radiowellen der Kometenkern durchleuchtet, Messgeräte erfassen ausserdem Temperaturen auf und unter der Kometenoberfläche, das Magnetfeld, den Wassereisgehalt und die Partikeleinschläge.

Video und interaktive Grafik
So funktioniert Philae
landung.tagesanzeiger.ch

Zwischenstation zum Mars

Forscher wollen auch Asteroiden besser erkunden. Sie suchen zudem Mittel, um einen anfliegenden Himmelskörper abzuwehren. Das Projekt steht in der Kritik.

Sie kommen nicht ganz von so weit her und sind öfters in der Nähe der Erde anzutreffen. Aber sie sind genauso interessant für die Forschung wie Kometen: die Asteroiden. Beide Arten kleiner Himmelskörper gibt es in vielen Varianten, und bisweilen ist nicht ganz klar, zu welcher Sorte ein Objekt gehört. Asteroiden sind besser erforscht, da sie leichter erreichbar sind. Mehrmals sind Sonden an ihnen vorbeigeflogen, es wurden auch schon Geschosse auf sie abgeworfen, um die Kraterbildung zu beobachten.

Die japanische Sonde Hayabusa hat sogar schon von einem Asteroiden ein paar Körner Material auf die Erde geholt. Ende November soll Hayabusa-2 starten und ein deutsch-französisches Landemodul mit einem japanischen Rover auf dem Asteroiden 1999 JU3 absetzen. Nach der Planung der japanischen Raumfahrtbehörde Jaxa soll Hayabusa-2 im Jahr 2018 auf dem Asteroiden eintreffen und Ende 2020 mit Bodenproben zur Erde zurückkehren.

Ebenfalls 2020 soll die amerikanische Sonde New Horizons neue Horizonte erreichen. Die Sonde, die seit 2006 unterwegs ist, wird 2015 den Zwergplaneten Pluto und seine Monde besuchen. Danach soll sie zum Kuipergürtel weitergeschickt werden, einer Zone, in der sich viele Asteroiden bewegen, von denen immer wieder einige ins Sonnensystem eindringen. New Horizons soll einen oder mehrere Asteroiden an ihrem Ursprungsort erkunden.

In einen Sack packen

Ein besonders spektakuläres Projekt hegt die Nasa für die kommenden 20er-Jahre: Mit der Asteroid Redirect Mission (ARM) soll ein Asteroid im All eingefangen werden. Unbemannte Raumschiffe würden den Himmelskörper aufsuchen, entweder in eine Art Sack packen oder abschleppen und in die Nähe der Erde befördern. Dort, so stellen es sich die ARM-Experten vor, könnten dann von der Erde aus gestartete Astronauten den Fang in aller Ruhe untersuchen. Asteroiden könnten laut den Plänen der Nasa bei den geplanten bemannten Marsflügen als Zwischenstationen dienen. Zudem wird nach Mitteln gesucht, einen anfliegenden Asteroiden, der die Erde bedroht, abzuwehren - beliebte Katastrophenfilme wie «Armageddon» widmen sich dem Szenario. ARM soll die Grundlage für diese Arbeiten liefern.

Das Projekt ARM wird stark kritisiert. Richard P. Binzel vom Massachusetts Institute of Technology hat Ende Oktober in der Zeitschrift «Nature» der Nasa vorgeworfen, ARM würde Milliarden verschlingen, ohne auf dem Weg zum Mars eine Hilfe zu sein. Es sei ein Spektakel, das Astronauten beschäftige, aber von den wichtigen Vorbereitungen des Marsfluges ablenken würde. Seiner Meinung nach brauche es viel mehr Mittel, um die zahlreichen Asteroiden in Erdnähe zu beobachten, wobei man bedrohliche, aber auch für spätere Besuche geeignete finden könnte. Für das Ablenken gefährlich nahender grosserer Asteroiden sollten in einem Konkurrenzverfahren unbemannte Raumschiffe entwickelt werden. Schliesslich sollten Roboter geplant werden, die in fernerer Zukunft Wasser und Rohstoffe aus Asteroiden gewinnen könnten.

Asteroiden sind nicht selten, jedes Jahr kommen Tausende davon im Format eines Seecontainers der Erde näher als der Mond, schreibt Binzel. Manche fliegen sehr nahe vorbei, wie der Asteroid 2014 RC, der im September in nur einem Zehntel der Distanz zum Mond an der Erde vorbeiraste und mit 20 Meter Durchmesser so gross war wie sein Artgenosse, der 2013 im russischen Tscheljabinsk grössere Schäden anrichtete. Kleinere Objekte prasseln täglich auf die Erde nieder, harmlos und unauffällig.

Walter Jäggi

Die Mission

Rosetta, Philae und Agilkia

Am 2. März 2004 startete in Kourou eine Ariane-5-Rakete mit der Raumsonde Rosetta. Da es für einen Direktflug zum Kometen 67P kein leistungsfähiges Raumschiff gibt, holte Rosetta von 2005 bis 2009 Schwung beim Umliegen von Planeten - dreimal um die Erde, einmal um den Mars. Sie beobachtete die Asteroiden Steins und Lutetia, ehe von Juni 2010 bis Januar 2014 alle Geräte im Energiesparmodus schlummerten. Seit August 2014 hat Rosetta den Kometen kartiert, sodass ein Platz für die Landung von Philae am 12. November gefunden werden konnte. Die Sonde hat ihren Namen vom berühmten «Stein von Rosetta». Philae ist eine im Assuan-Stausee versunkene Insel, auf welcher Grundlagen für die Hieroglyphenforschung gefunden wurden. Der Landeplatz wird Agilkia genannt, nach der Nachbarinsel, wo die Philae-Ruinen heute stehen. (j)