



REISE IN DAS REICH DER TROJANER

Die höchst ungewöhnliche NASA-Asteroidenmission Lucy

von Ulrich Köhler

Anfang 2021 wurde das Auffächern der beiden Solarpanels von 7,3 Metern Durchmesser unter Weltraumbedingungen getestet.

Wie entstand das Sonnensystem? Wie haben sich die Planeten gebildet, derart vielgestaltig – so unterschiedlich, dass keiner dem anderen gleicht? Auch wenn die Planetenforschung inzwischen durchaus eine Ahnung davon hat, wie sich vor viereinhalb Milliarden Jahren Materie in einer die junge Sonne umkreisenden Scheibe aus Gas und Staub zu ersten Protoplaneten fügte: Es sind noch so viele Fragen offen. Nicht zuletzt jene nach dem Ursprung des Lebens auf der Erde. Woher stammt das Wasser? Wo befanden sich die Bausteine des Lebens? Waren sie von Anfang an auf der Erde vorhanden oder wurden sie von kleinen Körpern, Asteroiden und Kometen, erst dorthin gebracht? Im Oktober wird sich die NASA-Raumsonde Lucy auf eine zwölfjährige Reise machen, um viele dieser Fragen zu beantworten. Das DLR ist mit dabei.

Lucys Ziel sind die sogenannten Trojaner-Asteroiden des Jupiter, des größten Planeten im Sonnensystem. Dabei handelt es sich um kleine Körper von bis zu 250 Kilometer Durchmesser, die in Regionen angesiedelt sind, die auf der Jupiterbahn dem Planeten in einem festen Abstand vorausseilen beziehungsweise nachfolgen. Die Punkte, oder genauer die „Punktewolken“, an denen dies möglich ist, werden Lagrange-Punkte genannt. Es sind die Positionen im Raum eines Zweikörpersystems – wie Sonne und Erde oder eben Jupiter –, an denen sich Anziehungs- und Fliehkräfte die Waage halten. Die insgesamt fünf Punkte, von Lagrange-1 (L1) bis Lagrange-5 (L5), sind nach dem italienisch-französischen Astronomen und Mathematiker Joseph-Louis de Lagrange (1736–1813) benannt. Zwei von diesen Lagrange-Punkten, L4 und L5, sind immer stabil und bilden ein gleichschenkeliges Dreieck mit 60-Grad-Winkeln zu Sonne und Jupiter. Es ist das erste Mal, dass Körper, die an Lagrange-Punkten entlang einer Planetenbahn um die Sonne kreisen, Besuch von einer Raumsonde bekommen; in der Planetenforschung hatte dieses Ziel seit Jahren höchste Priorität.

Die etwas anderen Asteroiden

Längst sind Asteroiden astronomisches Allgemeingut. Allerdings erfolgte die erste Sichtung erst vor 220 Jahren. Giuseppe Piazzi fiel in der Nacht vom 1. auf den 2. Januar 1801 auf der Suche nach einem Planeten in der ungewöhnlich großen „Lücke“ zwischen den Bahnen von Mars und Jupiter im Sternbild Stier ein „Stern“ auf, dessen Position sich in den Folgenächten änderte. Der Leiter der Sternwarte im sizilianischen Palermo hatte den Asteroiden Ceres entdeckt, den größten Körper im weiten Raum zwischen den beiden Planeten.

Bald folgten weitere Entdeckungen. Heute sind im Asteroiden-Hauptgürtel mehr als eine Million von kleinen Körpern bekannt. Sie werden als Überbleibsel der Planetenentstehung interpretiert: Trümmer aus Gestein, Metallen und – in den weiter von der Sonne entfernten Zonen – auch Eis, die sich durch die störende Gravitation Jupiters nicht zu einem Planeten zusammenfügen konnten. Die unzähligen Krater auf Mars, Mond oder Merkur zeigen uns, dass der Riesenplanet, der



Im Labor des Goddard Space Center der NASA in Greenbelt, Maryland, wird an L'Orpheus gearbeitet, dem kompliziertesten Instrument der Lucy-Mission. Es besteht aus einer Kamera, die Farbbilder aufnehmen wird, und einem Infrarotspektrometer.

zweieinhalbmal so viel Masse vereint wie alle anderen Planeten zusammengekommen, immer wieder Körper aus dem Hauptgürtel ins innere Sonnensystem lenkt. Dort kollidieren diese mit den erdähnlichen Planeten und hinterlassen ihre Krater, allerdings vor Milliarden von Jahren viel mehr als heute. Auf der Erde sind diese Spuren übrigens durch die dynamischen Oberflächenprozesse fast alle ausgelöscht. Gleichzeitig zwingt Jupiter das Gros der Asteroiden auf stabile Bahnen, was dem Leben auf der Erde vielleicht sogar das Überleben sicherte.

Die Raumfahrt macht es möglich, Asteroiden aus der Nähe zu beobachten. Die Sonde Galileo passierte auf dem Weg zum Jupiter die Asteroiden Gaspra (1991) und Ida (1993). Zwischen 2011 und 2018 beobachtete der NASA-Orbiter Dawn den Asteroiden Vesta und die inzwischen zu einem Zwergplaneten „beförderte“, fast tausend Kilometer große Ceres aus nächster Nähe über viele Monate aus Umlaufbahnen – mit einer vom DLR und der Max-Planck-Gesellschaft entwickelten Kamera. Den beiden japanischen Hayabusa-Sonden gelangen sogar Landungen und Probenahmen auf Asteroiden, gegenwärtig befindet sich die NASA-Sonde OSIRIS-REx mit Staub des Asteroiden Benu an Bord auf dem Rückweg zur Erde.

Zeitkapseln aus dem äußeren Sonnensystem

Nun also wird Lucy ihre Reise zu den Jupiter-Trojanern antreten. Dafür gibt es einen triftigen wissenschaftlichen Grund: Es wird vermutet, dass diese Trojaner im Gegensatz zu den Hauptgürtel-Asteroiden weniger mit den Körpern des inneren Sonnensystems gemein haben, sondern mehr mit den äußeren Regionen unseres Planetensystems. Mit Jupiter, in fast fünffacher Erdentfernung zur Sonne, beginnt das



Künstlerische Darstellung der Raumsonde Lucy beim Vorbeiflug an einem der Trojaner-Asteroiden

Lucy wird nach zwei Erdvorbeifügen die „Trojaner“ am Lagrange-Punkt 4 im April 2025 erreichen. Dort werden die Asteroiden Eurybates, Polymele, Leucus und Orus aus der Nähe beobachtet, ehe es 2029 zurück zur Erde geht. Die Sonde wird dort 2030/31 erneut beschleunigt und zum L5-Punkt fliegen, um 2033 den Asteroiden Patroclus zu untersuchen.

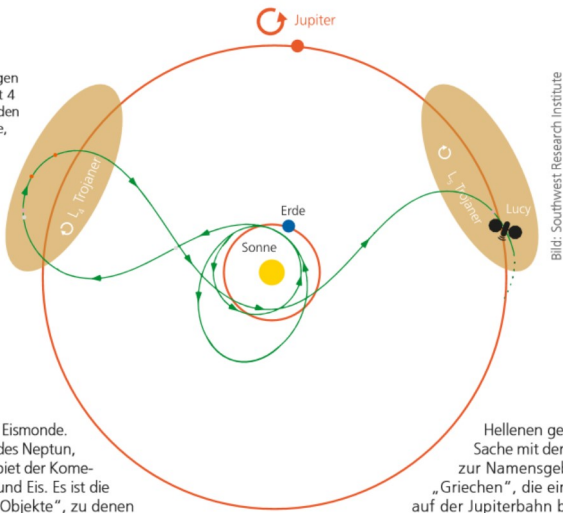


Bild: Southwest Research Institute

Reich der Gasplaneten und ihrer Eismonde. Noch weiter draußen, jenseits des Neptun, erstreckt sich das Ursprungsgebiet der Kometen, jenen Körpern aus Staub und Eis. Es ist die Zone der „transneptunischen Objekte“, zu denen auch Pluto gezählt wird.

So wie die Hauptgürtel-Asteroiden Reste der Bildung der vier erdähnlichen Planeten sind, dürften die Jupiter-Trojaner Überbleibsel des Ausgangsmaterials der äußeren Planeten sein, mit Ursprüngen in ganz unterschiedlichen Sonnenentfernungen. Wie die Kometen sind diese Asteroiden 4,5 Milliarden Jahre alte „Zeitkapseln“ jener Äonen, als alle Planeten entstanden. Möglicherweise enthalten sie sogar organische Moleküle aus Kohlenstoff und Wasserstoff, die von dort ins innere Sonnensystem und dadurch auf die Erde gelangten. Substanzen, die bei der Entstehung von Leben vor fast vier Milliarden Jahren eine wichtige Rolle gespielt haben könnten. Oder „Tholine“, rotbraune organische Stickstoffverbindungen, wie sie auf Pluto und seinem Begleiter Charon gefunden wurden. Bislang wurden die Trojaner nur mit Teleskopen beobachtet. Das ist schon schwer genug, denn sie bestehen aus Material, das schwarz wie Holzkohle ist, und sind dazu noch sehr viel weiter von der Erde entfernt als die Hauptgürtel-Asteroiden. Aber schon diese Untersuchungen zeigten, dass die Gruppe der Trojaner ganz andere Charakteristiken haben muss.

Bis heute sind knapp zehntausend Jupiter-Trojaner bekannt. Allerdings wird vermutet, dass noch viel mehr existieren. Die Zahl der Körper von über einem Kilometer Größe dürfte an die Million und damit an die Menge der Asteroiden im Hauptgürtel heranreichen. Der Heidelberger Astronom Max Wolf (1863–1932) entdeckte 1906 den ersten Trojaner auf der Jupiterbahn. Er benannte ihn nach Achilles, dem vermeintlich unbesiegbaren griechischen Helden aus dem mythischen Kampf der

Hellenen gegen Troja (wäre da nicht die Sache mit der Ferse gewesen!). So kam es zur Namensgebung der Trojaner, mit den „Griechen“, die ein „Heerlager“ am L4-Punkt auf der Jupiterbahn bilden und ihm vorausziehen, und den „Trojanern“, deren „zu verteidigende Stadt“ Troja am L5-Punkt liegt. Natürlich stand Homers Epos „Die Ilias“ Pate für die Namensgebungen. Jupiter sorgt durch seine Gravitation für eine gewisse Dynamik in (aber nicht zwischen) beiden Lagern. Dieses Kommen und Gehen ist aber bislang noch nicht gut verstanden.

Reise ins Unbekannte auf einem Zufallskurs

Die NASA wählte Lucy 2017 als Mission der erfolgreichen Discovery-Klasse aus, zusammen mit einer weiteren Asteroidenmission namens Psyche. Letztere wird im August kommenden Jahres auf eine Reise zum 220 Kilometer großen Hauptgürtel-Asteroiden Psyche starten, einem Körper, der fast ausschließlich aus Metall besteht. Auch der Name Lucy ist nicht, wie so oft im NASA-Duktus, eine Abkürzung, sondern bezieht sich auf einen der wichtigsten Funde der Menschheitsforschung: den des als „Vormenschen“ bezeichneten, 3,2 Millionen Jahre alten Teilskeletts des *Australopithecus afarensis* in Äthiopien. Lucys Entdecker Donald Johanson feierte am Abend jenes Novembertages 1974 mit seiner Mannschaft ein ausgelassenes Fest, bei dem der damals wie heute populäre Song der Beatles immer wieder im Kassettenrekorder lief: Lucy in the Sky with Diamonds. Über die Bedeutung der Anfangsbuchstaben der drei Hauptwörter wird bis heute spekuliert; das Skelett jedenfalls hatte seinen Namen weg. Mit ihm wurden die Anfänge der Menschheit entschlüsselt. Auch die Raumsonde dieser NASA-Mission soll im übertragenen Sinne dazu beitragen, die Anfänge des Sonnensystems zu entziffern.

Bei der Mission Lucy kommen ungewöhnliche Momente zusammen: Nach dem Start der anderthalb Tonnen schweren Raumsonde wird sie zweimal an der Erde Schwung holen und sich dann auf den Weg zu ihrem ersten Ziel machen: der nach dem Lucy-Entdecker benannte, knapp vier Kilometer große Asteroid 52246 Donaldjohanson im Hauptgürtel. Johanson, Jahrgang 1943, ist noch heute Professor an der Arizona State University. Beim Vorbeiflug werden die Instrumente und Abläufe getestet, aber Donaldjohanson ist auch von wissenschaftlichem Interesse, gehört er doch einer seltenen Klasse von Asteroiden an. Erst nach diesem Besuch wird sich Lucy der Jupiterbahn und dem L4-Punkt mit den „Hellenen“ nähern. Hier sind zwischen 2025 und 2028 fünf nahe Vorbeiflüge geplant, gleich als Erstes an Eurybates, benannt nach dem Herold des Odysseus, und dessen Mond Queta. Danach geht es – ein Novum in der Raumfahrt – von der Jupiterbahn zurück zur Erde zum erneuten Schwungholen für den neuen Kurs. Nun wird Lucy die „Trojaner“ am L5-Punkt besuchen und dort das 122 Kilometer große Binärsystem Patroclus und Menoetius untersuchen.

Danach, 2033, endet die Mission offiziell. Bis dahin wird Lucy dreieinhalb große Schlingen um die Sonne und vier Milliarden Kilometer zwischen den Bahnen von Erde und Jupiter unterwegs gewesen sein. Das Team spricht freimütig von einer „opportunistischen Flugbahn“, die sich anhand der technischen Möglichkeiten so ergeben hat und glücklicherweise Vorbeiflüge an insgesamt sieben der ursprünglichsten Körper des Sonnensystems ermöglichen wird. Das verspricht eine ungemein reiche wissenschaftliche Ausbeute an einer Klasse von Körpern, die entscheidende Antworten auf große Fragen zur Frühzeit der fernen, äußeren Planeten geben könnten, aber auch Erkenntnisse über die Frühgeschichte der Erde liefern dürften.

Ulrich Köhler arbeitet als Planetengeologe am DLR-Institut für Planetenforschung und ist dort auch für die Öffentlichkeitsarbeit zuständig. In seinen mehr als 30 Jahren beim DLR erlebte er, wie Asteroiden immer wichtiger für die Sonnensystemforschung wurden.

DIE NASA-DISCOVERY-MISSION LUCY

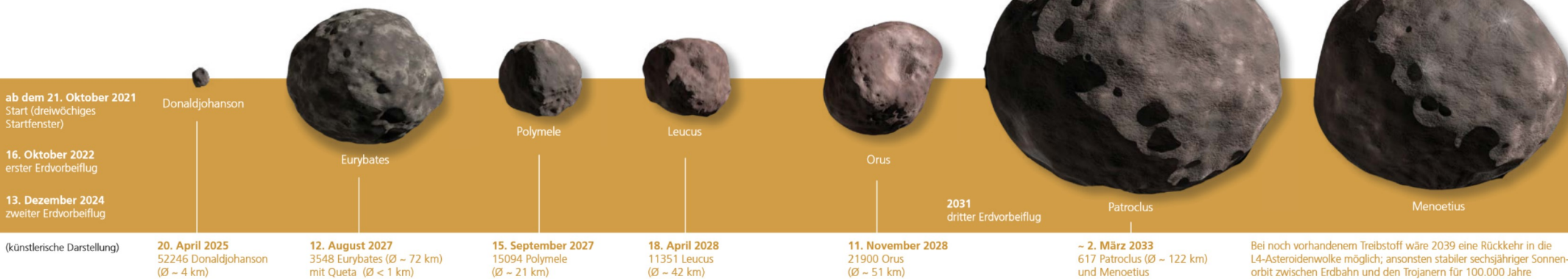
Lucy wird von Lockheed Martin Space in Denver, Colorado, gebaut. Die Startmasse beträgt 1.550 Kilogramm, davon 729 Kilogramm Treibstoff. Trägerrakete wird eine Atlas V 401 sein. Die Energiegewinnung erfolgt durch zwei Solarpanels, die in der größten Sonnenentfernung von etwa 1,4 Milliarden Kilometern noch 504 Watt erzeugen – ein Rekord. Die Mission wird vom Goddard Space Flight Center der NASA gesteuert. Die wissenschaftliche Leitung liegt bei Harold F. Levison vom Southwest Research Institute in Boulder, Colorado. Die wissenschaftliche Nutzlast besteht aus einer hochauflösenden panchromatischen („Schwarz-Weiß“-) Kamera, einer Multispektralkamera, einem abbildenden Infrarotspektrometer sowie einem Spektrometer zur Messung der Wärmeabstrahlung der Asteroiden.



Bild: SWRI/J. Spencer

Mitglieder des Lucy-Science-Teams, darunter auch DLR-Planetenforscher Stefano Mottola (rechts neben dem Pfeiler, hinter Teamleader Harold Levison mit Bart) fanden am 4. Januar 2020 heraus, dass der Zielerasteroid Eurybates einen kaum einen Kilometer großen Trabanten hat: Queta.

Das DLR ist mit Dr. Stefano Mottola vom Institut für Planetenforschung vertreten. Er ist Mitglied des Wissenschaftsteams von Lucy. Mottola war maßgeblich an den Missionen Rosetta, Dawn und Hayabusa2/MASCOT beteiligt und untersucht die Lichtkurven von Asteroiden intensiv mit erdgestützten Teleskopen. Der Planetenforscher mit Schwerpunkt Asteroiden und Kometen unterstützt Lucy durch Teleskopbeobachtungen der Zielerasteroiden zur Optimierung der Vorbeiflüge. Ferner wird er die Mission durch Berechnungen von Körperformen, Bildmosaik, Atlanten und die Kartierung von Helligkeiten und Zusammensetzung begleiten. Aus den Daten der Navigationskameras soll die Gestalt der Asteroiden abgeleitet werden. Dr. Martin Pätzold von der Universität Köln wird über die Auswertung des Funkverkehrs (Rot- und Blauverschiebung der Funkwellen durch den Doppler-Effekt) Masse und Aufbau der Asteroiden untersuchen. Er wird von der Deutschen Raumfahrtagentur im DLR gefördert.



Bei noch vorhandenem Treibstoff wäre 2039 eine Rückkehr in die L4-Asteroidenwolke möglich; ansonsten stabiler sechsjähriger Sonnenorbit zwischen Erdbahn und den Trojanern für 100.000 Jahre