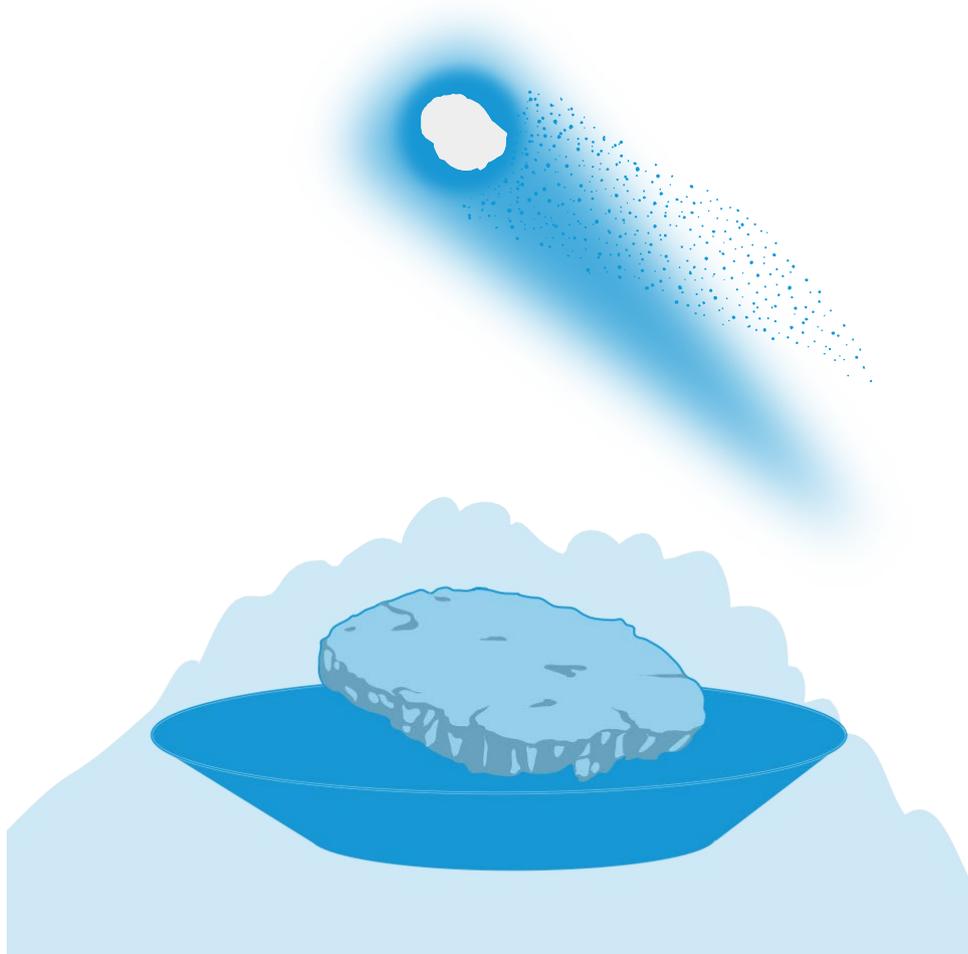


Teach with Space

→ KOCH E EINEN KOMETEN

Zutaten für Leben



→ EINLEITUNG

Kometen gelten als Zeitkapseln, die Informationen über die Bedingungen des frühen Sonnensystems enthalten. Um zu verstehen, was Kometen sind, woher sie kommen und welchen Einfluss sie auf die Entwicklung der Erde haben, muss man erst einmal herausfinden, welches Material sie enthalten. Dieses Unterrichtsmaterial und die praktischen Übungen für Schüler*innen, zusammen mit der daraus resultierenden Diskussion, geben einen Einblick in die chemischen Bestandteile von Kometen. Eine Erweiterungsdiskussion und -aktivität, die sich mit den Einschlagsprozessen auf der Erde und Berechnungen der beteiligten kinetischen Energie befasst, ist ebenfalls enthalten.

Arbeitsblätter für Schüler*innen	Seite 3
Weltraumkontext @ ESA	Seite 5
Giotto	Seite 5
SOHO	Seite 8
Komet 103P/Hartley und Herschel	Seite 9
Rosetta	Seite 10
Anhang	Seite 13
Glossar	Seite 13
Links	Seite 14

Kochen eines Mini-Kometen

In dieser Aktivität werdet ihr ein Modell eines Kometenkerns herstellen, indem ihr gewöhnliche Zutaten verwendet, welche die Hauptgruppen von Materialien darstellen, die in Kometenkernen vorkommen. Einige der Materialien, wie Trockeneis, sind gefährlich. Eure Lehrkraft wird euch Anweisungen zum Umgang mit ihnen geben.

Ausrüstung

- Trockeneis (ca. 100 ml)
- Wasser (ca. 100 ml)
- Kleine Müllsäcke
- 3 Teelöffel Erde
- 1 Teelöffel Kohlenstaub/Pulver oder Graphitpulver
- 1 Teelöffel Whisky, Wodka oder Rotwein (Methanol/Ethanolanteil)
- Ein paar Tropfen Sojasauce (organische Komponente)
- Ein Tropfen eines Reinigungsmittels (Ammoniakprodukt)
- Wegwerfbarer Plastikbecher
- Eimer für die Entsorgung
- Teelöffel
- Styroporbehälter für Trockeneis
- Thermische Schutzhandschuhe
- Schutzbrille für alle Teilnehmer*innen
- Labor-Schutzkittel

Anleitung

1. Gebt die folgenden Zutaten in einen mit einem Müllsack ausgekleideten Einwegplastikbecher: Wasser, Erde, Kohlestaub, Wein/Alkohol, Reinigungsmittel und Sojasauce. Diese stellen einige der Bestandteile eines echten Kometen dar. Mit dem Teelöffel gut umrühren.
2. Fügt das Trockeneis hinzu. Rührt die Mischung aus Wasser und Trockeneis um. Zieht dann die Schutzhandschuhe an und formt den Kometen etwa 30 Sekunden lang zu einem Klumpen. Nicht zu stark zusammendrücken, sonst könnte der Komet zerbrechen.
3. Legt den Kometen nach der Übung in einen Müllbeutel und legt ihn in den von der Lehrkraft bereitgestellten Eimer.

Berechnung der Kometenmasse, Geschwindigkeit und Energie

In dieser Reihe von Fragen werdet ihr die Masse, die Geschwindigkeiten und die Energien von Kometen anhand der in der nachstehenden Tabelle angegebenen Daten untersuchen.

Masse der Sonne	$m_{\text{Sonne}} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
Dichte von Wassereis	$\rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
Gravitationskonstante	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$

Fragen

- Ein Komet hat eine kinetische Energie von $4,5 \cdot 10^{13} \text{ J}$. Er ist mit einer Geschwindigkeit von $34 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ unterwegs. Berechnet die Masse des Kometen.
- Ein anderer großer Komet mit einer Masse von $5,2 \cdot 10^8 \text{ kg}$ hat einen Beinahezusammenstoß mit der Erde und streift die Atmosphäre. Zum Zeitpunkt der Messung betrug seine Geschwindigkeit $49,0 \frac{\text{km}}{\text{s}}$.
 - Berechnet die kinetische Energie des Kometen (in J).
 - Wenn die Energie, die von 1 Kilotonne (1000 Tonnen) explodierender TNT freigesetzt wird, $4,2 \cdot 10^{12} \text{ J}$ beträgt, wie viele Kilotonnen Energie hätte dieser Komet gehabt, wenn er die Erde getroffen hätte?
 - Nach dem Beinahezusammenstoß wurden die Masse und die Flugbahn des Kometen verändert. Nennt einen Grund dafür.
- Ein Komet befindet sich auf einer elliptischen Umlaufbahn um die Sonne. Seine geringste Annäherung an die Sonne erfolgt in einer Entfernung von $4,9 \cdot 10^{10} \text{ m}$. Zu diesem Zeitpunkt beträgt seine Geschwindigkeit $8,9 \cdot 10^4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Er stammt aus der Oortschen Wolke, weit jenseits der Umlaufbahn des Neptuns. Wie hoch ist seine Geschwindigkeit, wenn er $1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$ von der Sonne entfernt ist (dies ist der Abstand der Erde von der Sonne)?
- Wie haben eurer Meinung nach Kometen- und Asteroideneinschläge die Erde und das Leben auf der Erde im Laufe ihrer Geschichte beeinflusst?

Giotto

Der Komet 1P/Halley hat eine Umlaufzeit von etwa 75,5 Jahren (die Zahl schwankt leicht von Umlauf zu Umlauf aufgrund von Ausgasungen aus seinem Kern und Gravitationsstörungen). Dieser Komet wurde von der Erde aus (mit bloßem Auge) regelmäßig beobachtet, und seit etwa 240 v. Chr. wurden Sichtungen aufgezeichnet. Die Aufzeichnungen dieser Beobachtungen haben es den Astronom*innen ermöglicht, die Umlaufbahn des Kometen 1P/Halley auf einige Monate um das Perihel einzugrenzen. Eine berühmte Aufzeichnung der Sichtbarkeit des Kometen 1P/Halley von der Erde aus wurde auf dem Wandteppich von Bayeux gemacht, der die Schlacht von Hastings im Jahr 1066 darstellt (Abbildung 10).

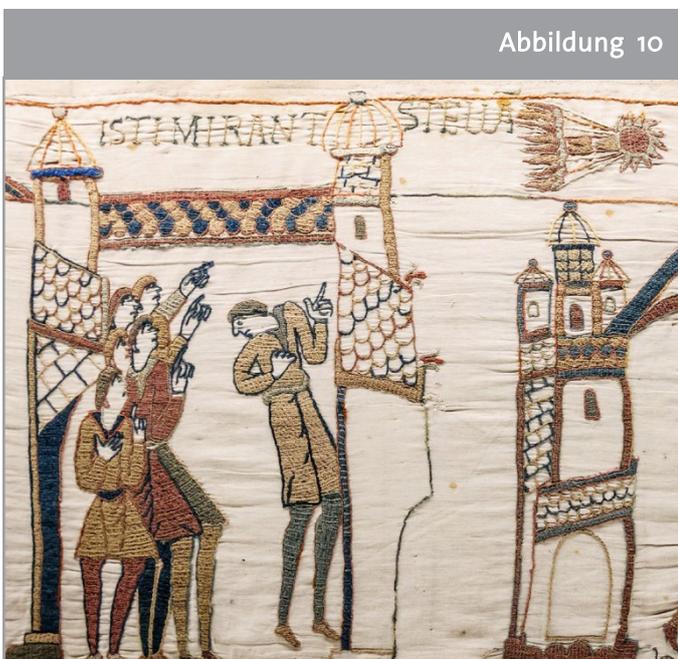


Abbildung 10

↑ Komet 1P/Halley auf dem Teppich von Bayeux.



Abbildung 11

↑ Giotto bereit für den solaren Simulationstest. © ESA

In jüngerer Zeit, im Jahr 1986, näherte sich der Komet 1P/Halley zum ersten Mal seit Beginn des Welt-
raumzeitalters der Sonne. Die ESA-Raumsonde Giotto (Abbildung 11) flog in weniger als 600 km Entfernung an seinem Kern vorbei und lieferte die ersten Nahaufnahmen eines Kometenkerns (Abbildungen 12 und 13). Diese Beobachtungen veränderten das Verständnis der Wissenschaftler*innen für diese eisigen Objekte.

Giotto beobachtete, dass die Oberfläche des Kometenkerns sehr dunkel war, schwärzer als Kohle: Dies deutete darauf hin, dass er von einer Staubschicht bedeckt war. Die Daten zeigten, dass die Häufigkeit bzw. das Verhältnis der leichten Elemente (Wasserstoff, Kohlenstoff und Sauerstoff) im Kometen 1P/Halley derjenigen der Sonne ähnelt, was bedeutet, dass er aus dem ursprünglichen Material besteht, aus dem sich das Sonnensystem gebildet hat.

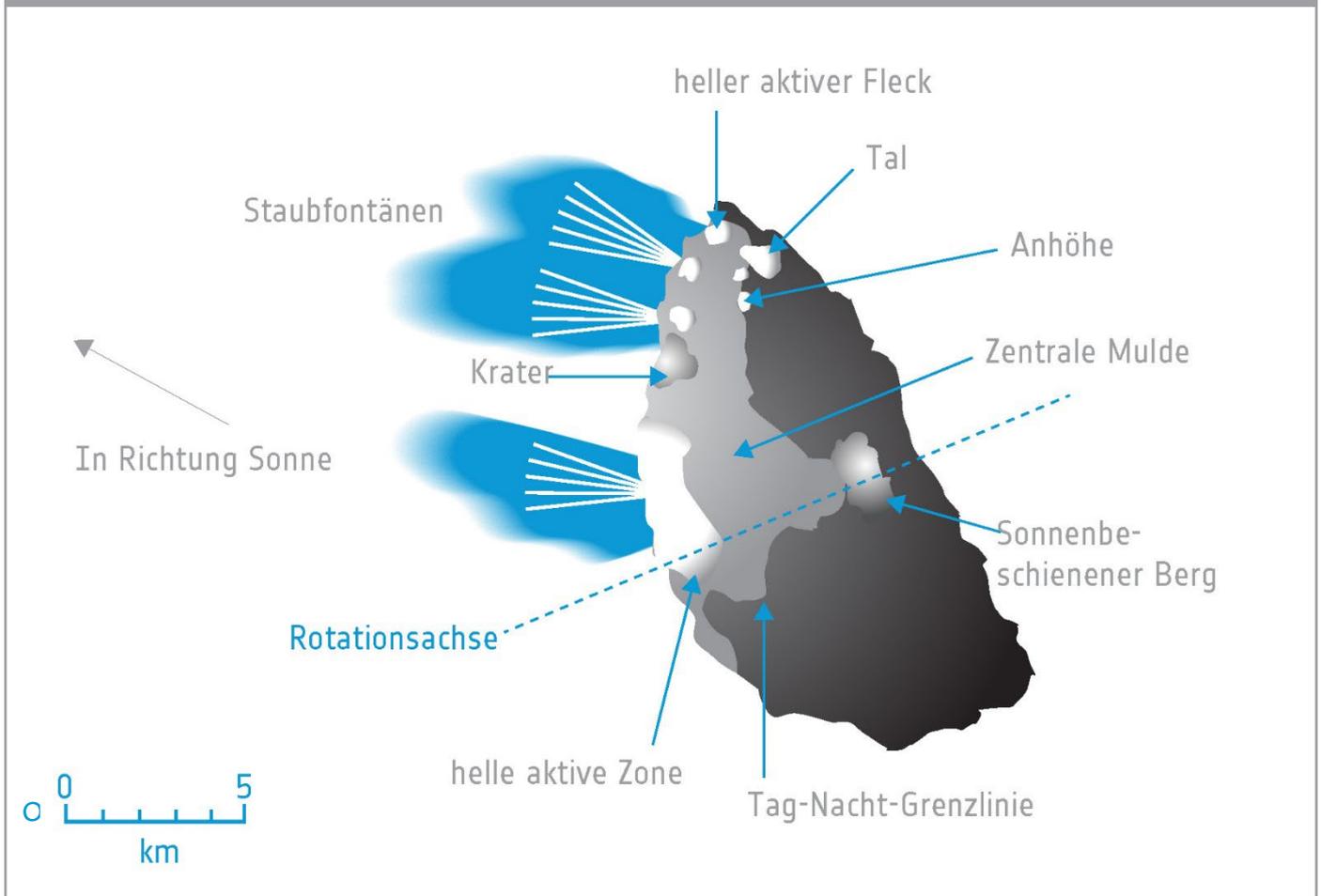
Die Bildmontage in Abbildung 12 zeigt weitere Merkmale, die sichtbar wurden, als sich das Raumschiff dem Kern näherte.



↑ Der Kern des Kometen 1P/Halley, wie er von Giotto bei seiner nächsten Annäherung gesehen wurde.



↑ Bild des Kerns des Kometen 1P/Halley, wie er von Giotto gesehen wurde.



↑ Die wichtigsten Merkmale auf den von der ESA-Sonde Giotto gelieferten Bildern des Kometen 1P/Halley.

Abbildung 14 zeigt Merkmale, die aus einem Bild des Kometenkerns von 1P/Halley interpretiert wurden (Abbildung 13). Es sind Materialstrahlen oder Staubfontänen zu sehen, die aus der Oberfläche des Kerns austreten. Dies wird durch die schnelle Sublimation der flüchtigen Stoffe auf und nahe der Oberfläche des Kerns verursacht. Da der Druck dieser sich ausdehnenden flüchtigen Stoffe zunimmt, werden sie schließlich in einem Prozess freigesetzt, der als Ausgasen bekannt ist.

SOHO - Sonnen- und Heliosphärisches Observatorium

Das ESA/NASA Solar and Heliospheric Observatory, kurz SOHO, beobachtet die Sonne aus einer Entfernung von 1,5 Millionen Kilometern von der Erde (Abbildung 15). Hier hält die kombinierte Schwerkraft der Erde und der Sonne die Sonde auf einer Umlaufbahn, die mit der Linie Erde-Sonne verbunden ist. Von dieser Position aus hat SOHO einen ununterbrochenen Blick auf die Sonne und kann daher 24 Stunden am Tag Beobachtungen machen.

SOHO wurde entwickelt, um die innere Struktur der Sonne, ihre ausgedehnte äußere Atmosphäre (die Korona) und den Ursprung des Sonnenwindes zu untersuchen. Seit seinem Start im Jahr 1995 hat SOHO die Sonne über einen kompletten Sonnenzyklus hinweg beobachtet und den Wissenschaftlern wertvolle Daten geliefert, die zum Verständnis der Höhen und Tiefen des langfristigen Verhaltens der Sonne beitragen.

Von seinem einzigartigen Beobachtungspunkt aus hatte SOHO auch die Möglichkeit, Tausende von sonnenumlaufenden Kometen zu beobachten, darunter auch den Kometen 2012/S1 ISON, der sich 2013 dem Perihel näherte. SOHO ist einer der größten Kometenentdecker aller Zeiten und hat seit seinem Start mehr als 2700 Kometen entdeckt.



↑ Künstliche Darstellung von SOHO.

Komet 103P/Hartley und Herschel

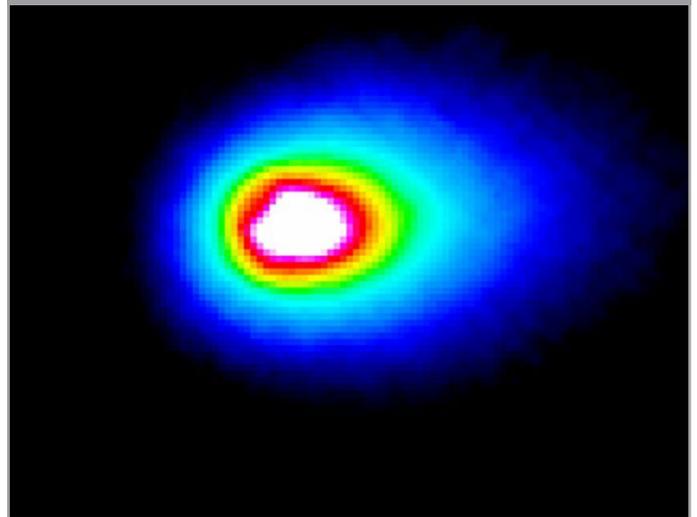
Das Herschel-Infrarot-Weltraumobservatorium der ESA (Abbildung 16) wurde 2009 gestartet und trug das größte und leistungsstärkste Infrarot-Teleskop, das jemals ins All geflogen ist. Es war das erste Observatorium, das den gesamten Bereich vom fernen Infrarot bis zum Submillimeterbereich abdeckte. Die Beobachtungen von Herschel reichten weiter in das ferne Infrarot hinein als alle vorherigen Missionen, indem sie ansonsten unsichtbare staubige und kalte Regionen des Kosmos sowohl in der Nähe als auch in der Ferne untersuchten.

Abbildung 16



↑ Künstlerische Darstellung des Infrarot-Weltraumobservatoriums Herschel.

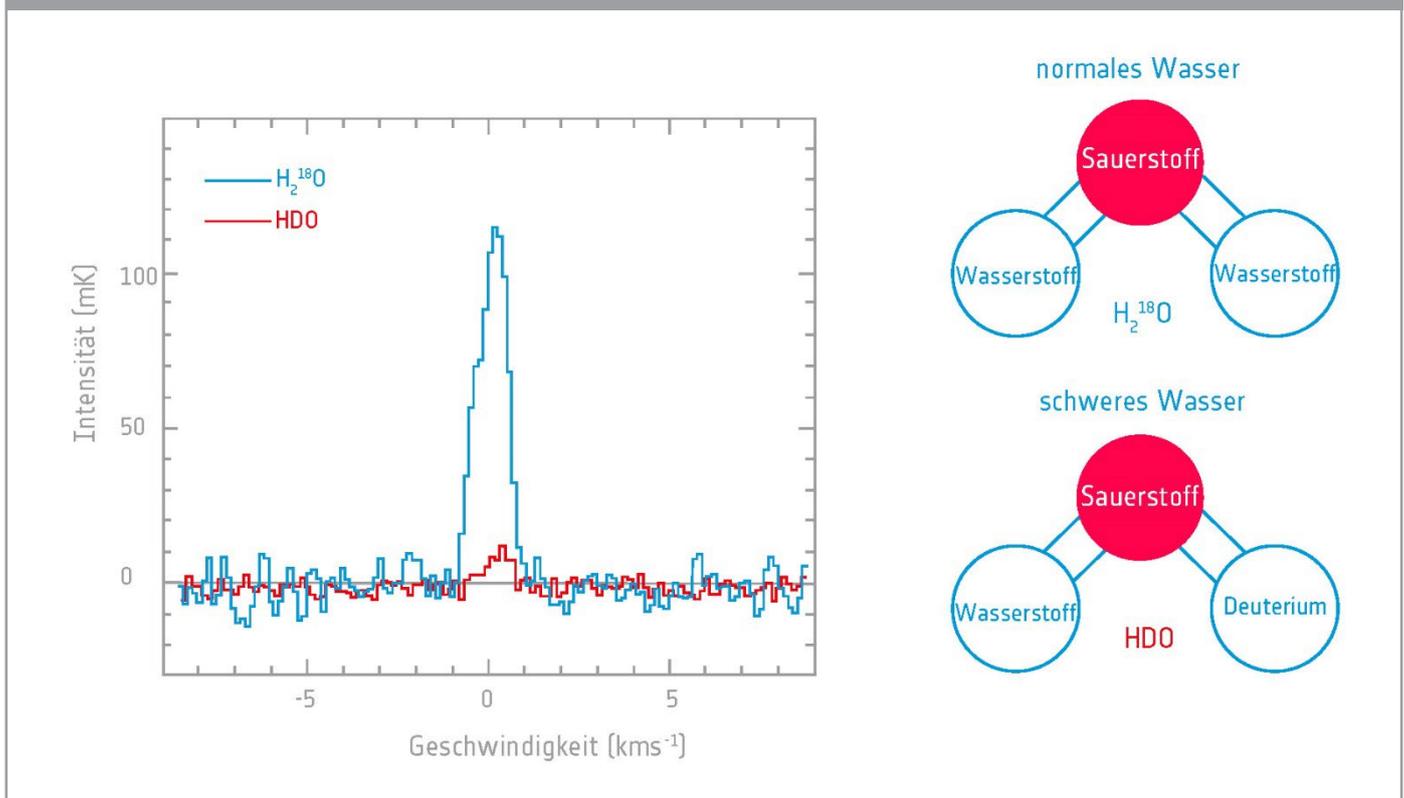
Abbildung 17



↑ Der Komet 103P/Hartley, gesehen vom PACS-Instrument des Herschel-Infrarot-Weltraumobservatoriums.

Im Jahr 2010 führte Herschel spektroskopische Beobachtungen des Kometen 103P/Hartley im fernen Infrarot durch und beobachtete die Emission großer Mengen von Wasser aus seinem Kern, wie in Abbildung 17 rot und weiß dargestellt. Diese Beobachtungen wurden in der Nähe des Perihels des Kometen (der größten Annäherung an die Sonne) durchgeführt.

Die mit dem HIFI-Instrument an Bord von Herschel durchgeführten Infrarot-Spektroskopie-Messungen ermöglichten Schätzungen des Verhältnisses von Deuterium ("schwerer Wasserstoff" - Wasserstoffatome, die neben einem Proton auch ein Neutron in ihrem Kern haben) zu Wasserstoff in dem vom Kometenkern abgegebenen Wasser (d. h. das Verhältnis von normalem Wasser zu Deuterium; Abbildung 18). Es wurde festgestellt, dass der Wassergehalt dieses speziellen Kometen im Gegensatz zu anderen beobachteten Kometen ein identisches Verhältnis zum Wassergehalt der Ozeane der Erde aufweist. Dies war der erste direkte Beweis für die Theorie, dass der ursprüngliche Wassergehalt der Erde aus der gleichen Quelle stammt wie einige Kometen.



↑ Mit einem zusätzlichen Neutron in einer der Wasserstoffkomponenten des Moleküls erzeugt schweres Wasser einen kleineren Spektralpeak.

Rosetta

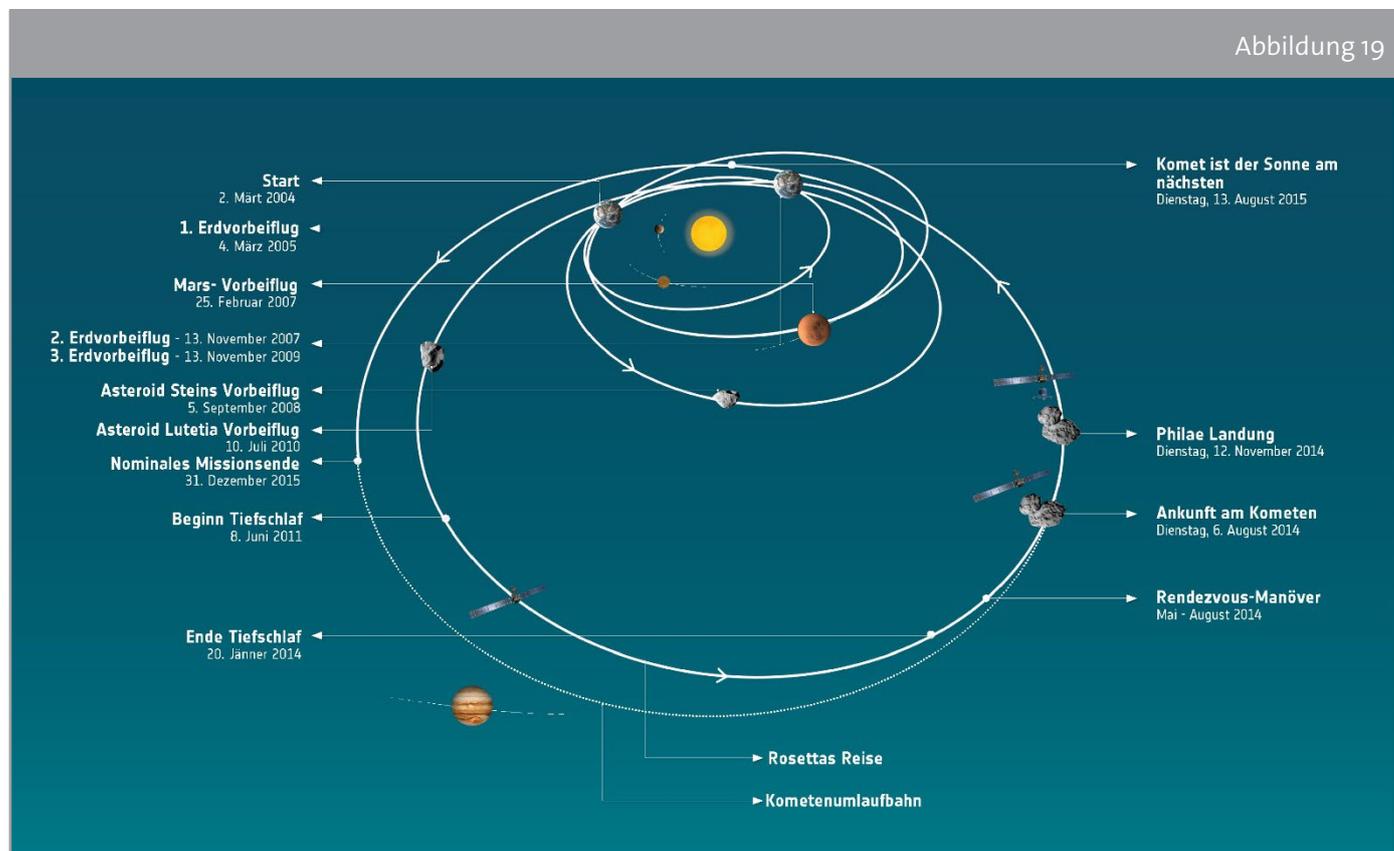
Die ESA-Mission Rosetta zum Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko wurde 2004 zu einer zehnjährigen Reise gestartet, um ein Rendezvous mit einem Kometenkern zu erreichen und auf diesem zu landen.

Das Hauptziel von Rosetta war es, zum Verständnis der Entstehung und Entwicklung des Sonnensystems beizutragen. Die Zusammensetzung eines Kometen spiegelt die des präsolaren Nebels wider, aus dem die Sonne und die Planeten des Sonnensystems vor mehr als 4,6 Milliarden Jahren entstanden sind. Eine eingehende Analyse des Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko durch Rosetta und seinen Lander wird wesentliche Informationen zum Verständnis der Entstehung des Sonnensystems liefern.

Es gibt überzeugende Beweise dafür, dass Kometen eine Schlüsselrolle bei der Entwicklung der Planeten spielten, denn Kometeneinschläge waren im frühen Sonnensystem viel häufiger als heute. Kometen könnten zum Beispiel Wasser auf die Erde gebracht haben. Die Chemie des Wassers im Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko wird analysiert, um herauszufinden, ob es mit den Ozeanen der Erde vergleichbar ist. Neben Eis und Staub enthalten Kometen viele komplexe Moleküle, darunter auch organische Stoffe, die bei der Entwicklung des Lebens auf der Erde eine entscheidende Rolle gespielt haben könnten.

Um zum Kometen zu gelangen, musste Rosetta eine Reihe von Manövern durchführen, bei denen die Schwerkraft eines Himmelskörpers genutzt wird, um die Sonde zu beschleunigen (Abbildung 19). Um tiefer in den Weltraum vorzudringen, musste Rosetta vier solcher Manöver durchführen, darunter drei

nahe Vorbeiflüge an der Erde und einer am Mars. Jedes Schleudermanöver veränderte die kinetische Energie von Rosetta und damit die Geschwindigkeit der Raumsonde, wodurch sich die Abmessungen der elliptischen Umlaufbahn änderten.



↑ Die ESA-Raumsonde Rosetta führte eine Reihe von Manövern durch, um ihr Ziel zu erreichen.

Angesichts der langen Reise wurde Rosetta im Juni 2011 in den Tiefschlaf versetzt, um den Strom- und Treibstoffverbrauch zu begrenzen und die Betriebskosten zu minimieren. Fast alle elektrischen Systeme von Rosetta wurden abgeschaltet, mit Ausnahme des Computers und einiger Heizungen.

Im Januar 2014 weckte Rosettas vorprogrammierter interner "Wecker" die Raumsonde vorsichtig auf, um sie auf ihr Rendezvous mit dem Kometen 67P/Churyumov-Gerasimeko vorzubereiten. Nach dem Aufwachen wurden die 11 wissenschaftlichen Instrumente des Orbiters und die 10 Instrumente des Landers reaktiviert und für wissenschaftliche Beobachtungen vorbereitet. Anschließend wurde eine Reihe von zehn kritischen Bahnkorrekturmanövern durchgeführt, um die Geschwindigkeit der Raumsonde relativ zum Kometen zu verringern und so seine elliptische Umlaufbahn anzupassen.

Nachdem Rosetta am 6. August 2014 den Kometen 67P/Churyumov-Gerasimeko erreicht hatte, begann sie mit weiteren Manövern, um in eine "Umlaufbahn" um den Kometenkern zu gelangen. Von diesem Aussichtspunkt aus können die Instrumente von Rosetta eine detaillierte wissenschaftliche Untersuchung des Kometen vornehmen und die Oberfläche in noch nie dagewesener Detailtreue kartieren (Abbildung 20).

Abbildung 20



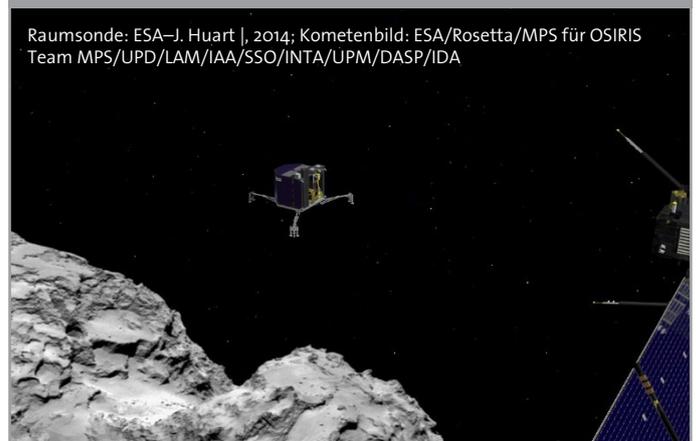
↑ NAVCAM-Mosaik aus vier Bildern des Kometen 67P/Churyumov Gerasimenko, aufgenommen am 19. September 2014, als Rosetta 28,6 km vom Kometen entfernt war.

Nach der Landung begleitet Rosetta den Kometen weiterhin auf seiner elliptischen Reise. Rosetta wird mit dem Kometen zurück in Richtung inneres Sonnensystem beschleunigen und weiterhin aus nächster Nähe beobachten, wie sich der eisige Kometenkern bei seiner Annäherung an die Sonne aufheizt.

Nachdem Rosetta den Kometenkern mehrere Monate lang kartiert und analysiert hat, setzt sie im November 2014 ihren Lander Philae aus, um die erste Landung auf einem Kometenkern zu versuchen. Da der Komet eine so geringe Schwerkraft hat, hat Philae Harpunen und Eisschrauben verwendet, um sich auf der Oberfläche zu befestigen. Abbildung 14 zeigt eine künstlerische Darstellung der Landung von Philae auf der Oberfläche.

Der Lander Philae setzt dabei 10 Instrumente ein, darunter einen Bohrer zur Entnahme von Proben der Oberfläche und **Spektrometer**¹, um die Struktur und Zusammensetzung des Kometen direkt zu analysieren.

Abbildung 21



↑ Die Landefähre Philae wird noch nie dagewesene Informationen über die Oberfläche und den inneren Aufbau eines Kometen liefern.

¹ **Spektrometer**: Instrument zur Aufspaltung des Lichts in seine einzelnen Wellenlängen, mit dem die Eigenschaften der Lichtquelle gemessen werden können.

→ ANHANG

Glossar

Gravitationsstörungen: Änderungen der Bahn eines Himmelskörpers (z. B. Planet, Komet) aufgrund von Wechselwirkungen mit den Gravitationsfeldern anderer Himmelskörper (z. B. Riesenplaneten, andere Sterne).

Umlaufzeit: Zeit, die benötigt wird, um einmal den Zentralkörper (zB die Sonne) zu umrunden.

Perihel: Punkt auf einer Umlaufbahn, der der Sonne am nächsten ist.

Sonnenwind: Ein Strom hochenergetischer Teilchen (Plasma), der von der oberen Atmosphäre der Sonne in alle Richtungen ausgestoßen wird. Er enthält hauptsächlich Elektronen und Protonen.

Sublimation: Wenn eine Substanz durch Erwärmung direkt von der festen in die gasförmige Phase übergeht und dabei den flüssigen Zustand umgeht. Wenn das Gas wieder abgekühlt wird, bildet es in der Regel eine feste Ablagerung (Resublimation).

Links

Rosetta

Website der ESA Rosetta: www.esa.int/rosetta

ESA Rosetta Blog: blogs.esa.int/rosetta/

Rosetta Videos und Animationen: www.esa.int/spaceinvideos/Missions/Rosetta

Rosetta Bilder: [www.esa.int/spaceinimages/Missions/Rosetta/\(class\)/image](http://www.esa.int/spaceinimages/Missions/Rosetta/(class)/image)

Rosetta Factsheet, einschließlich Missionszeitplan: www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta/Rosetta_factsheet

Die bisherige Geschichte: www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Rosetta_the_story_so_far

Auf der Jagd nach einem Kometen: www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Chasing_a_comet

Eine 12-jährige Reise durch den Weltraum: www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2013/10/Rosetta_s_twelve-year_journey_in_space

Rosettas Umlaufbahn um einen Kometen: www.esa.int/spaceinvideos/Videos/2014/01/Rosetta_s_orbit_around_the_comet

Wie man einen Kometen umkreist: www.esa.int/spaceinvideos/videos/2014/08/How_to_orbit_a_comet

Kometen

ESA Kids-Artikel über Kometen: www.esa.int/esaKIDSen/SEMWK7THKHF_OurUniverse_o.html

Website ESA Rosetta (technisch): www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Rosetta

Website der ESA Giotto: sci.esa.int/giotto/

ESA Rosetta: www.esa.int/rosetta

ESA Kids-Artikel über Kometen: www.esa.int/esaKIDSen/SEMYC9WJD1E_OurUniverse_o.html

Giotto

Giotto im Überblick: www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Giotto_overview

Herschel

Website des ESA-Weltraumobservatoriums Herschel: www.esa.int/herschel

Kamen die Ozeane der Erde von Kometen? www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Herschel/Did_Earths_oceans_come_from_comets

SOHO

Überblick der ESA über SOHO: https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/SOHO_overview2

Video der Begegnung des Kometen ISON mit der Sonne, aufgenommen vom ESA/NASA-Satelliten SOHO: sci.esa.int/soho/54346-soholasco-view-of-comet-ison-27-30-november-2013/

Erdeinschlag

Down2Earth-Aufprallsimulator: education.down2earth.eu/

Unterrichten Sie mit der Weltraumsammlung

ESA lehrt mit Weltraum - Gravity Wells Video | VPo4: https://www.esa.int/esatv/Videos/2014/07/Gravity_wells_-_classroom_demonstration_video_VPo4

ESA lehrt mit Raum - Marmor-Ellipsen Lehrerhandbuch und Schüleraktivitäten | Po2: esamultimedia.esa.int/docs/edu/Po2_Marble-ous_ellipses_teacher_guide.pdf

ESA lehrt mit Raum - Murmel-Ellipsen Video | VPo2: https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2014/07/Marble-ous_ellipses_-_classroom_demonstration_video_VPo2

ESA lehrt mit dem Weltraum - Kochen eines Kometenvideos | VPo6: https://www.esa.int/esatv/Videos/2014/10/Cooking_a_comet_ingredients_for_life_-_classroom_demonstration_video_VPo6

Teach with Space – einen Kometen kochen | Po6
www.esa.int/education

Entwickelt für die ESA von der National Space Academy,
UK Illustrations von Kaleidoscope Design, NL
Ins Deutsche übersetzt von ESERO Austria

Eine ESA-Bildungsproduktion
Copyright © Europäische Weltraumorganisation 2014