

Titelbild: Während ISON kläglich an der Sonne scheiterte, stieß C/2013 R1 Lovejoy in die Lücke. Das Foto zeigt ihn am 12.12.2013. CCD-Aufnahme, 5:14 MEZ, 8"-Astrograph bei 560mm, FLI PL 16070, 5min (je LRGB). *Gerald Rhemann*

INTERAKTIV



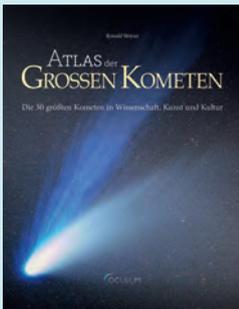
Auf Twitter informieren wir Sie tagesaktuell über astronomische Ereignisse und geben Updates. Folgen Sie @interstellarum!

[Kurzlink: oc1m.de/twt](https://oc1m.de/twt)

BUCHTIPP



Atlas der Großen Kometen



Ronald Stoyan, Oculum-Verlag, ISBN: 978-3-938469-70-5, 49,90€.

[Kurzlink: oc1m.de/03ac](https://oc1m.de/03ac)

BUCHTIPP



Astro-Praxis Kometen



Burkhard Leitner, Uwe Pilz, Oculum-Verlag, ISBN: 978-3-938469-60-6, 24,90€.

[Kurzlink: oc1m.de/03vt](https://oc1m.de/03vt)



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

eigentlich war alles ganz anders geplant: Dieses Themenheft sollte eine imposante Rückschau auf den Jahrhundert-Auftritt des Kometen ISON werden; mit Ihren Fotos, viel Hintergrundinformation und Begeisterung. Leider ist bekanntlich alles ganz anders gekommen. Komet ISON kommt in diesem Heft nun nur noch am Rande vor: Daniel Fischer fasst die bisherigen Kenntnisse über das Scheitern in seiner Analyse zusammen (S. 24). Stefan Binnewies und Rainer Sparenberg berichten von der vergeblichen Suche nach ISON auf La Palma (S. 64). Dennoch: Das Kometenjahr 2013 war besser als sein Ruf. Das zeigt der ausführliche Rückblick von Burkhard Leitner mit beeindruckenden Fotos der Kometen-Fotoexperten Gerald Rhemann und Waldemar Skorupa (S. 30).

Im Fokus dieser Ausgabe stehen die spannenden Ereignisse, die im zweiten Halbjahr 2014 folgen werden: Mit Rosetta wird erstmals eine Raumsonde in den Orbit um einen Kometen einschwenken, und sogar ein Landemodul auf diesem absetzen. Was sich Forscher davon erhoffen, schildert Daniel Fischer in seiner Titelgeschichte (S. 8). Kometen-Astronom Harald Krüger gibt in seinem Artikel einen umfassenden Überblick über das heutige Wissen zu Schweifsternen vor Rosetta (S. 16).

Das Themenheft ist aber auch gleichzeitig ein Anlass für den Blick zurück: Burkhard Leitner fasst in seinem Bericht die Kometen-Erscheinungen der letzten Jahrzehnte zusammen (S. 36). Uwe Wohlrab feiert die Fotografie seines 100. Kometen (S. 40), während Jürgen Linder auf den Wechsel der Aufnahmetechnik in den letzten 40 Jahren eingeht (S. 46). Schließlich berichtet Werner Hasubick, mit welchen Hilfsmitteln er 1000 Schweifsterne verfolgt hat (S. 58). Eines haben all diese Berichte gemeinsam: Grandiose Kometenaufnahmen aus vier Jahrzehnten.

Noch ein persönlicher Tipp: Wenn Sie nicht länger auf den nächsten großen Kometen warten möchten, empfehle ich Ihnen mein Buch »Atlas der Großen Kometen«. In diesem wunderschönen Bildband stelle ich die 30 größten Schweifsterne der Neuzeit vor – mit unterhaltsamen Texten und einem großen Schatz an Zeichnungen und Fotografien, der in diesem Umfang einmalig in der Kometen-Literatur ist.

Viel Spaß beim Lesen

Ronald Stoyan



Kometen im Visier

Rosetta eröffnet eine neue Ära der Kometen-Astronomie

Hintergrund

- 8 Kometen im Visier**
Rosetta eröffnet eine neue Ära der Kometen-Astronomie
- 16 Kometen – Kleinkörper aus Eis & Staub**
Neue Erkenntnisse der Kometenforschung
- 24 Aus und vorbei**
Wie Komet ISON sein Endspiel verlor
- 28 Unheimliche Begegnung mit Mars**
Komet C/2013 A1 (Siding Spring) am Roten Planeten

Praxis

- 30 Das verhinderte Kometenjahr**
Die Schweifsterne des Jahres 2013
- 36 Von IRAS bis ISON**
Ein Rückblick auf die Kometen der letzten 35 Jahre
- 40 Hundert Kometen**
Rückblick auf 28 Jahre Kometenfotografie

Technik

- 46 40 Jahre Kometenfotografie**
Ein Rückblick auf Techniken und Trends
- 54 Auf und ab**
Lichtkurven von Kometen selbst berechnen
- 58 Der Kometenjäger**
Auf der Pirsch nach 1000 Schweifsternen

NEWSLETTER



Alle zwei Wochen aktuelle Nachrichten aus der Welt der Astronomie. Jetzt online lesen!

[Kurzlink: oc1m.de/n1](http://oc1m.de/n1)

VIDEO-PODCAST



Alle zwei Monate informiert und unterhält Sie unser Video-Podcast »**interstellarium Sternstunde**«.

[Kurzlink: oc1m.de/iss](http://oc1m.de/iss)

Ausgabe 21 berichtet live vom ATT am 10.5.2014!

- Aktuelle Messe-Neuheiten
- Vorstellung und Start des neuen interstellum Plus-Abos



16

Kometen - Kleinkörper aus Eis & Staub



30

Das verhinderte Kometenjahr



36

Von IRAS bis ISON



24

Aus und vorbei



40

Hundert Kometen



46

40 Jahre Kometenfotografie

Szene

64 Jagd auf ein Phantom

*Eine Fotoexkursion auf
der Suche nach
ISONs Überresten*

68 Kometenentdeckung in Teamarbeit

Der Komet P/2014 C1 (TOTAS)

72 Der erfolgreichste Kometenentdecker

*Ein Interview mit
Robert McNaught*

74 Rezension: Comets!

74 Kometen im Web

Astro-Markt

75 Gewerbliche Anzeigen



54

Auf und ab



58

Der Kometenjäger



64

Jagd auf ein Phantom



58

Kometen- entdeckung in Teamarbeit

Kometen im Visier

Rosetta eröffnet eine neue Ära der Kometen-Astronomie

von Daniel Fischer



ESA/J. Mai

▲ Abb. 1: **Überbordende Freude** im Main Control Room des European Space Operations Centre (ESOC) der ESA in Darmstadt, nachdem feststeht, dass sich Rosetta nach 31-monatigem Winterschlaf wieder gemeldet hat.

Es wird der nächste große Schritt in der Erforschung der Kometen mit Raumsonden sein: Die am 2. März 2004 gestartete ESA-Kometensonde Rosetta soll im August 2014 als erster Raumflugkörper auf eine Umlaufbahn um einen Kometen gebracht werden. Im November wird die Landeeinheit Philae sogar auf dem Kometen abgesetzt werden. Aber erst einmal musste die Sonde diesen Januar aus langem Schlaf erwachen ...

Noch nicht einmal das Warten auf seine eigenen Weltraumstarts sei derart nervenaufreibend gewesen, sagt der mehrfache Astronaut und heutige ESA-Manager Thomas Reiter: Die Uhr im Kontrollzentrum ESOC in Darmstadt tickte und tickte an jenem 20. Januar 2014 – aber die große Raumsonde Rosetta meldete sich einfach nicht.

Seit dem 8. Juni 2011 war sie in einem tiefen Winterschlaf durch das Sonnensystem gezogen, auf ihrer komplizierten zehnjährigen Bahn zwischen Erde und Komet 67P/Churyumov-Gerasimenko, zu weit von der Sonne entfernt, als dass ihre Solarzellen noch ausreichend Strom für den Normalbetrieb liefern konnten. Aber lebenswichtige Systeme waren weiter-

gelaufen, darunter auch vier redundante Timer, die sie nun 957 Tage später – um 11:00 MEZ – hätten wieder aufwecken sollen. Eine längere Prozedur hätte dann folgen müssen, mit dem Aufwärmen der Navigationsinstrumente und der Ausrichtung der Hauptantenne zur Erde, bis frühestens um 18:30 MEZ der Funkträger Rosettas die Erde erreichen sollte.



Warten auf eine kleine Spitze

Präzise berechnen ließ sich dies zwar nicht, aber die Experten der Flugkontrolle rechneten mit 18:45 MEZ als wahrscheinlichstem Zeitpunkt – und waren sich zu 98% bis 99% sicher, dass sich Rosetta an diesem Tag von sich aus melden würde. Allerdings war immer klar gewesen, dass es nach zweieinhalb Jahren während des Hochfahrens der Systeme zu Problemen kommen könnte und die Prozedur dann wieder von vorne begonnen würde – und es hätte an den folgenden Tagen auch die Möglichkeit gegeben, einer schweigenden Sonde direkt Kommandos zu geben und dem Computer auf die Sprünge zu helfen.

Trotzdem wurden die Gesichter im ESOC länger und länger, als die Uhr 18:45, dann 19:00 MEZ hinter sich ließ und die für die

GRUNDLAGEN

Der Stein von Rosetta

Der Name der Mission geht auf einen Stein zurück, den napoleonische Soldaten 1799 während der Besetzung Ägyptens nahe dem Ort Rosetta (heute Rashid) im Nildelta fanden. Der Stein stammt aus dem Jahre 196 v. Chr. und zeigt einen Gesetzestext in Griechisch, Demotisch sowie in ägyptischen Hieroglyphen. Mit diesem Stein gelang es dem französischen Gelehrten Jean-François Champollion, das Geheimnis der ägyptischen Hieroglyphen zu entziffern und damit den Zugang zu einer untergegangenen Kultur zu schaffen.

Auch der Name des Landegerätes – Philae – hat mit den Hieroglyphen zu tun. Auf der inzwischen untergegangenen Nil-Insel Philae südlich von Luxor befand sich ein Obelisk, der die Namen von Kleopatra und Ptolemäus in griechischer Schrift und in Hieroglyphen enthielt. Damit konnte Champollion nachweisen, dass die Hieroglyphen einer Schriftsprache entsprechen und so an die Entzifferung des Rosetta-Steines gehen. In ähnlicher Weise erhoffen sich die Wissenschaftler von der Rosetta-Mission, die Ursprünge unseres Sonnensystems zu entschlüsseln. Rosetta und Philae sind also nicht nur Namen, sie verkörpern zugleich ein anspruchsvolles Programm.

Kontaktaufnahme gemietete 70m-Schüssel DSS-14 der NASA im kalifornischen Goldstone weiterhin rein gar nichts empfing. Die ganze Welt konnte per Webcast zuschauen, wie sich auf dem Spektrum-Analysator ihres Empfängers exakt nichts tat.

Um 19:15 MEZ, eine halbe Stunde nach dem erhofften Erscheinen einer markanten Spitze auf dem Display, kam mit DSS-43 im australischen Canberra eine zweite 70m-Antenne dazu – und nur Minuten später schien aus den nunmehr zwei Spektren ein immer deutlicheres Signal zu wachsen. Hektik in der Flugkontrolle, Rückfragen beim Jet Propulsion Laboratory in Kalifornien, das die großen Antennen betreibt – und dann, nach einer Minute und gefühlten Ewigkeit der Ungewissheit plötzlich gewaltiger Jubel im ESOC, als es keinen Zweifel mehr gab: Rosetta ist



▲ Abb. 2: Das Signal ist da! Die scharfe Spitze auf dem Rauschen der Spectrum Analyzer von den 70m-Antennen des Deep Space Network in Kalifornien und Australien ist der Funkträger von Rosetta – zum ersten Mal seit 31 Monaten wieder zu hören.

aufgewacht, hatte sich im Raum gedreht, die große Funkantenne auf die Erde ausgerichtet und den Träger eingeschaltet, über den Stunden später auch die erste Telemetrie einlief und von genereller Gesundheit der Sonde kündete. Das war das Ende eines langen Wartens, aber auch der Beginn einer mehrmonatigen behutsamen Wiederinbetriebnahme der komplexen Riesensonde, ihrer Systeme und der umfangreichen Nutzlast auf ihr wie auch auf dem Lander Philae, die nun mit 40 Minuten Verspätung begann.

Dreißig Jahre für eine Mission

Die Jahre 2014 und 2015 krönen ein Projekt, das schon vor drei Jahrzehnten begonnen hatte, denn die Entscheidung für die Rosetta-Mission als eines von vier Hauptprojekten im ESA-Langzeitprogramm »Horizont 2000« war bereits 1985 gefallen. Die wissenschaftliche Welt war damals überzeugt, dass Kometen aus nahezu unverändertem Material aus dem präsolaren Nebel bestehen würden: Damit könnte man von ihnen direkte Informationen von der Geburt unseres Sonnensystems erhalten.

Zwar ist das Bild inzwischen viel differenzierter geworden und man hat manche Prozesse kennengelernt, die auch Kometenmaterie im Laufe der Jahrmilliarden verändern haben können, aber ursprünglichere Zeugnisse aus der Urzeit des Sonnensystems sind nirgends in Sicht. Obwohl die Giotto-Mission der ESA zum Kometen Halley 1985 noch in den Startvorbereitungen war, sprach sich das Programmkomitee der Weltraumbehörde bereits für eine aufwendige Fortführung der Kometenerkundung aus. Und die sah damals noch ganz anders aus als heute.



ES/J. Mai
ESA und European Southern Observatory

▲ Abb. 3: Der Zielkomet in aktivem Zustand – kein Star am Firmament, aber ein Ziel für eine Raumsonde mit vertretbarem Risiko.



► Abb. 4: Das vom echten Orbiter nicht zu unterscheidende, aber weniger empfindliche Engineering Qualification Model Rosettas während Tests vor dem Start.

Gemeinsam mit der NASA wollte die ESA nämlich Material von einem Kometen zur Erde zurückbringen. Diese Traummission trug den Namen »Comet Nucleus Sample Return« (CNSR) und sollte viele Erfahrungen der Apollo-Mondlandungen aufgreifen, was die Landung und den Start von der Oberfläche eines anderen Himmelskörpers betraf. Doch die USA stiegen Ende der 1980er-Jahre aus dem gewaltigen Projekt aus und strichen auch gleich noch ein weiteres Milliardenunternehmen der Kometenforschung: die Sonde »Comet Rendezvous Asteroid Flyby«, die bereits vor CNSR zum ersten Mal in die Umlaufbahn um einen Kometen eingeschwenkt wäre und auch viele europäische Instrumente getragen hätte. Zwar absolvierte die NASA seither eine ganze Reihe Kometenvorbeiflüge mit kleineren Raumsonden, die das vergangene Jahrzehnt zu einem amerikanischen der Kometenforschung machten, doch nur die ESA arbeitete weiter an einem Kometenorbiter, der nicht nur vorbeihuschen sollte.

Auferstanden aus Ruinen

Aus den europäischen Überresten der CNSR erwuchs ab 1993 die Mission Rosetta, die

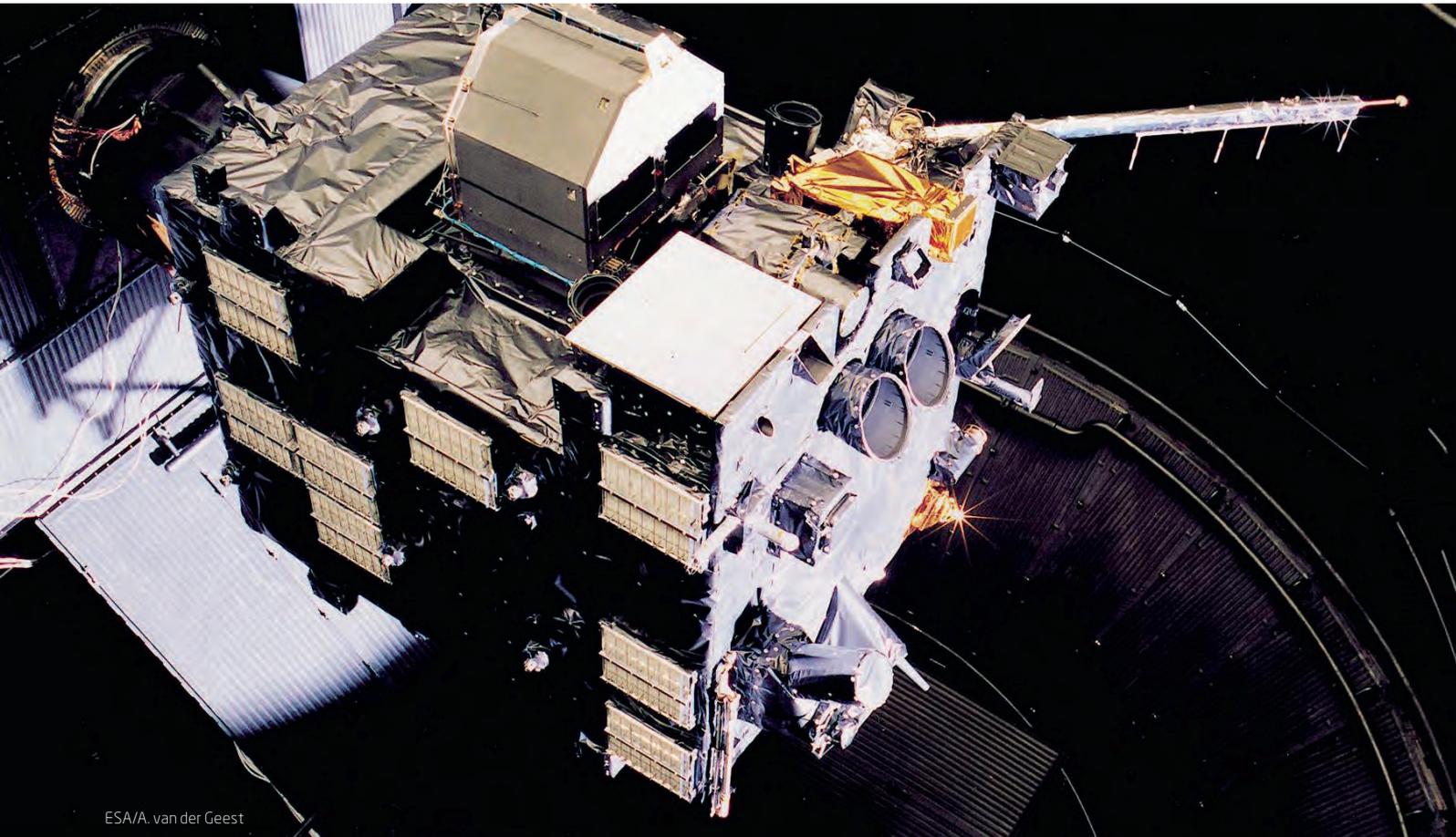
zehn Jahre später zu einem Kometen namens Wirtanen aufbrechen sollte. Wenn schon keine Proben-Rückkehrmission, dann sollte wenigstens gelandet werden – ursprünglich sogar zweimal: Vorgesehen waren die Landemodule »Champollion« von Frankreich und den USA und »Roland«, der Rosetta LANDER, als rein deutsches Projekt. Auch hier zogen sich die USA aber wieder zurück, Champollion war zeitweise eine eigenständige Kleinmission und wurde dann auch fallengelassen: Am Ende bauten Deutsche und Franzosen gemeinsam eine 100kg schwere Hightech-Landesonde für Rosetta, die nun Philae heißt. Damit waren die Probleme aber noch nicht vorbei. Ursprünglich sollte Rosetta 2003 zum Kometen Wirtanen starten – doch der Fehlstart der leistungsstärkeren Ariane-5-Plus-Rakete im Dezember 2002 zwang sowohl die ESA als auch die Betreibergesellschaft Arianespace zu einer gründlichen Überprüfung. Die unangenehme Folge: Wirtanen konnte nun nicht mehr eingeholt werden.

Man wollte bei Rosetta auch nicht das Geringste riskieren. Zuviel stand auf dem Spiel, zum einen das Prestige Europas als Produzent von Schwerlastträgerraketen sowie Be-

treiber von Satellitenstarts und zum anderen das Gelingen einer der teuersten Flaggschiff-Missionen der ESA. Nach Abwägung aller Vor- und Nachteile der in Frage kommenden Objekte entschieden sich die ESA-Wissenschaftler nach ziemlich hitziger Debatte für den Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko, den einer seiner Verächter sogleich »Chury« taufte. Dieser Komet war 1969 von dem ukrainischen Astronomen Klim Churyumov auf Fotos entdeckt worden, die seine Kollegin Svetlana Gerasimenko aufgenommen hatte: Er stammt aus dem Edgeworth-Kuiper-Gürtel und hat eine Umlaufperiode von etwa 6,5 Jahren. Sein Kern ist nach teleskopischen Daten oval und 3km × 5km groß, mit einer Rotationsperiode von 12,4 bis 12,9 Stunden. Das Reflexionsvermögen beträgt gerade einmal 0,04, d.h. er ist dunkler als Kohle, und die Dichte seines Oberflächenmaterials ist vergleichbar mit einem trockenen Schwamm.

Das neue Ziel

Gegenüber Wirtanen ist »Chury« wesentlich jünger und damit weniger ausgegast. Das ist von Vorteil, denn pro Umlauf verliert der Komet etwa 400t Masse beziehungsweise 1,50m



ESA/A. van der Geest

▲ Abb. 5: Der Kometenorbiter Rosetta mit dem Kometenlander Philae huckepack (in Grau, oben) im Large Space Simulator des ESTEC in den Niederlanden.

Oberflächenmaterial. Churyumov-Gerasimenko bewegt sich auf einer elliptischen Bahn zwischen 840 Millionen und 195 Millionen Kilometern Abstand um die Sonne. Von Nachteil für die Mission sind sein größerer Durchmesser sowie seine gegenüber Wirtanen größere Masse: Letztere bewirkt eine etwa dreimal so hohe Landegeschwindigkeit des Rosetta-Landers Philae, so dass Veränderungen vorgenommen werden mussten; noch Jahre nach dem Start wurden in Labors die LandeprozEDUREN durchgespielt und verfeinert. Außerdem wurden intensive Beobachtungen von »C-G«, wie der Komet bei der ESA inzwischen meist genannt wird, aus der Ferne organisiert, um sein Verhalten bei der Annäherung an die Sonne besser abschätzen zu können: Schließlich soll Rosetta nach der Ankunft diesen Sommer stets in seiner Nähe verweilen und den Anstieg seiner Aktivität verfolgen, dabei aber nicht durch den Staub gefährdet werden, der den Kometenkern mit dem abströmenden Gas verlässt.

Zum Zeitpunkt von Rosettas Erwachen befand sich Churyumov-Gerasimenko auf seiner 6,5-Jahres-Bahn noch in der Nähe der Umlaufbahn von Jupiter (Rosetta war noch neun Millionen Kilometer entfernt): Seine

engste Sonnenannäherung, die ihn zwischen die Umlaufbahnen von Erde und Mars führen wird, wird er erst im August 2015 erreichen. Bei den letzten teleskopischen Beobachtungen von der Erde aus im vergangenen Oktober befand sich Churyumov-Gerasimenko noch so weit von der Sonne entfernt, dass er noch keine Gase und keinen Staub ausstieß: Auf Bildern des Very Large Telescope der ESO war er deshalb nur als einfacher Lichtpunkt zu sehen. Bald darauf war er nicht mehr zu beobachten, weil die Elongation von der Sonne zu gering wurde. Aus zum Teil mehrere Jahre zurückliegenden Beobachtungen ergibt sich, dass der Komet jedoch bereits im März dieses Jahres beginnen könnte, Gas und Staub zu verlieren.

Rosettas lange Reise

Nach zwei Startverschiebungen aufgrund schlechten Wetters und technischer Probleme war der dritte Versuch am 2. März 2004 schließlich reibungslos gelungen: Die Ariane 5 absolvierte vom europäischen Raumflughafen in Französisch-Guyana aus einen Bilderbuchstart. In Kourou mit dabei waren auch die beiden ukrainischen Kometenentdecker,

denen wir den unaussprechlichen Namen des Zielobjektes zu verdanken haben.

Die Missionsplaner hatten eine überaus komplexe und wissenschaftlich hoch ergebnisreiche zehnjährige Reiseroute ausgetüftelt, auf der Rosetta bis zum Ende der Mission etwa 7,1 Milliarden Kilometer durch unser Sonnensystem zurückgelegt haben wird. Der Weg führte die Sonde dreimal an der Erde und einmal am Mars sowie an den Kleinplaneten Šteins (2008) und Lutetia (2010) vorbei, wobei die Vorbeiflüge an den Planeten zum Erreichen einer Rendezvousbahn mit dem Kometen essentiell waren (vgl. Kasten »Im Detail«). Unterwegs drang Rosetta notgedrungen bis zu 800 Millionen Kilometer von der Sonne entfernt – nahe der Umlaufbahn von Jupiter – ins äußere Sonnensystem vor, wo sie Churyumov-Gerasimenko erreichen und schließlich auf dem Weg zur Sonne begleiten wird.

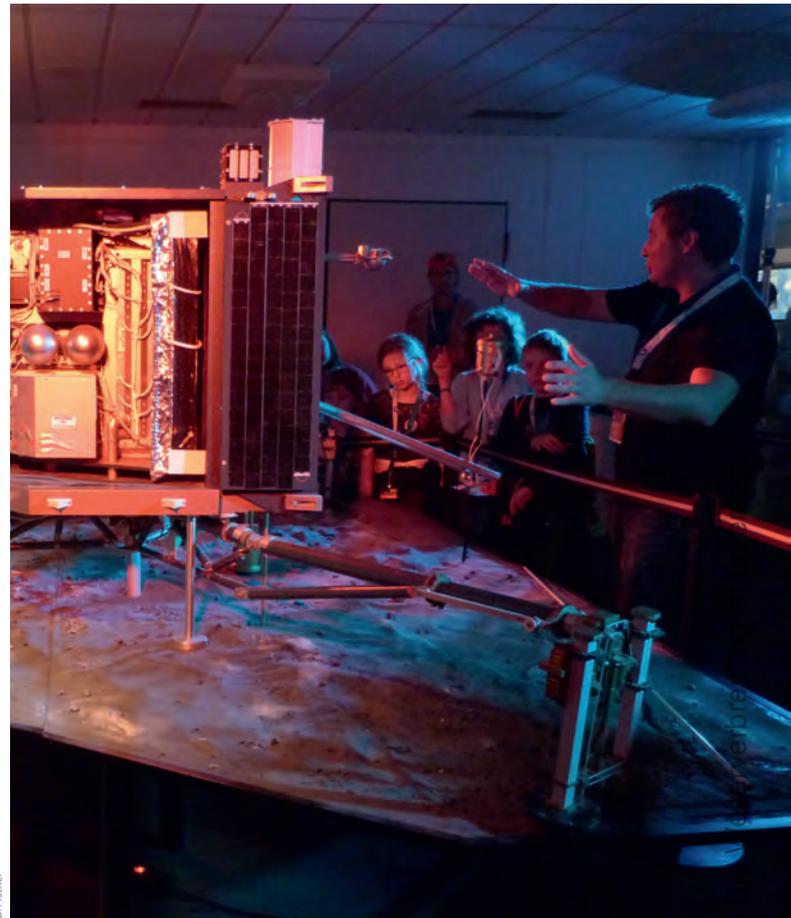
Direkt nach dem umfangreichen Austeren aller Systeme an Bord steht Ende Mai ein größeres Kurskorrekturmanöver auf Rosettas Programm: Es soll den Kometenjäger endgültig auf Rendezvouskurs bringen. Das Einschwenken in einen Orbit ist für August 2014 geplant, wobei es sich wegen der geringen Masse des Kometen aber nicht um eine



D. Fischer

D. Fischer

▲ Abb. 6: Der Kontrollraum für den Kometenlander Philae im MUSC des DLR in Köln: Hier wird es am 11. November besonders spannend.



▲ Abb. 7: Ein detailgetreues 1:1-Modell des Kometenlanders Philae beim DLR in Köln, hier beim Tag der Luft- und Raumfahrt 2013.

Umlaufbahn im herkömmlichen Sinne handelt: Vielmehr wird sich Rosetta vorsichtig annähern und dann in einem komplizierten Muster aus dreieckigen oder pyramidenförmigen Flugmanövern immer wieder besonders nahe an Churyumov-Gerasimenko herankommen, bis sich die Bahn schließlich einer Serie von Ellipsen annähert.

In der Nähe des Kometen bleibt die Sonde aber immer, auch nach dem Absetzen von Philae diesen November. Im August 2015 wird dann der sonnennächste Punkt der Kometenbahn erreicht, mit der höchsten Aktivität des Kerns, die auch den Abstand Rosettas bestimmen wird: Entscheidend ist Churyumov-Gerasimenkos Staubproduktion. Einige Monate danach, voraussichtlich Ende 2015, wird die Satellitenmission beendet sein, während sich der Komet wieder in die äußeren, eisigen Bereiche des Planetensystems zurückzieht.

Die Landung: Krönung oder Zugabe?

Das Sahnehäubchen der Rosetta-Mission ist zweifellos die für November 2014 geplante Landung von Philae auf dem Kometen. Ge-

lingt das Manöver, dann kann das exotische Kometenmaterial hautnah durch zehn verschiedene Instrumente detailliert untersucht und die Kometenforschung gewaltig vorangebracht werden. Klappt es nicht, dann versprechen gleichwohl das Dutzend Instrumente auf dem Orbiter – und die erstmalige Möglichkeit, mit ihnen die Veränderung eines Kometen bei der Annäherung an die Sonne hautnah zu verfolgen – immer noch bahnbrechende Erkenntnisse.

Das Landemodul Philae ist so konstruiert, dass es im Idealfall etwa sechs Monate lang die harten Umweltbedingungen auf der Kometenoberfläche aushalten könnte, dank eigener Solarzellen wäre die Stromversorgung gesichert. Die Erfahrungen Europas mit Landungen auf fremden Himmelskörpern sind allerdings begrenzt und zwiespältig: 2003 scheiterte eine (von Großbritannien beigestellte) Billig-Landeeinheit auf dem Mars, zwei Jahre später überlebte Huygens auf der Oberfläche des Saturnmonds Titan dagegen viel länger als erwartet.

Die ESA-Kosten der Rosetta-Mission betragen 770 Millionen Euro. Hinzu kommen die Kosten für Philae, für nationale Beiträge zu den wissenschaftlichen Experimenten

(die es zusammen noch einmal auf hundert Millionen Euro bringen dürften) sowie die einjährige Startverschiebung, so dass die Gesamtkosten bei gut einer Milliarde Euro liegen. Deutschland als wichtigste an dieser Mission beteiligte Nation trägt dabei einen Beitrag von 290 Millionen Euro.

An Bord der beiden Sondenteile befinden sich insgesamt 21 Instrumente, elf auf dem Orbiter und zehn auf dem Lander. Davon wurden allein 13 an deutschen Universitäten, Max-Planck- oder DLR-Instituten entwickelt und gebaut, bzw. wichtige Teile beigesteuert. Philae selbst wurde im Wesentlichen am DLR-Institut für Raumsimulation in Köln und am Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung (MPS) in Katlenburg-Lindau gebaut. Die Leichtbaustruktur steuerte das DLR-Institut für Strukturmechanik in Braunschweig bei. Eines der wichtigsten Instrumente des Rosetta-Orbiters, das OSIRIS-Kamerasystem, wurde ebenfalls am MPS entwickelt und gebaut. An fünf weiteren Instrumenten ist das MPS beteiligt (MIRO, CONSERT, COSIMA, COSAC und ROSINA). Vom Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik in Garching stammt das Massenspektrometer COSIMA.



ESA/J. Heurt

ESA, Abb. von ADES MediaLab



ESA

▲ Abb. 8: Philae auf dem Weg zur Oberfläche des Kometenkerns in einer künstlerischen Darstellung.

▲ Abb. 9: Abstieg des Philae-Landers ins Ungewisse: Noch weiß niemand, wie die Oberfläche des Kometenkerns beschaffen ist.

Annäherung an ein unbekanntes Ziel

Die Annäherung an den Kometen und das Einschwenken in den Orbit sind die erste große Aufgabe für die Flugkontrolle Rosettas: Dafür sind im Zeitraum von Anfang Mai bis Anfang August 2014 insgesamt zwölf Bahnkorrekturmanöver geplant. Mit dem zwölften Manöver am 7. August soll schließlich das Einschwenken in eine Umlaufbahn um den Kometenkern erfolgen. Dabei können die Experten in der Bodenstation zunächst nur auf erdgebundene Beobachtungen des sich sehr schnell bewegenden Zielobjektes bauen, die der Berechnung seiner Flugbahn dienen. Es muss zunächst ein imaginärer Punkt angesteuert werden, an dem sich Komet und Raumsonde zum berechneten Zeitpunkt treffen sollen, denn beim ersten Korrekturmanöver beträgt die Entfernung beider Objekte noch knapp eine Million Kilometer.

Aufgrund der geringen Größe sind Aufnahmen des Kometenkerns erst Anfang August möglich, wenn sich Rosetta ihm bis auf 400km genähert hat. Sie werden die Berechnungen für den Zielflug

dramatisch verbessern. Außerdem lassen sich neben der Position des Kerns seine Form, Größe und Rotation bestimmen: Die Aussagen auf Basis der früheren astronomischen Beobachtungen sind nicht wirklich verlässlich.

Die Aufgabe der vielen Bahnmanöver besteht darin, die Relativgeschwindigkeit von Rosetta zum Kometen schrittweise zu verringern und sich ihm dabei immer weiter zu nähern, von zunächst über 300m/s auf rund 2m/s. Nach dem Einschwenken in den Orbit »tastet« sich die Sonde in weiteren kleinen Schritten an den Kometen auf zwei bis drei Kilometer Entfernung zur Oberfläche heran. In dieser Zeit erfolgt auch die Auswahl eines Landgebietes für Philae, das im Oktober feststehen soll, etwa einen Monat vor der Landung.

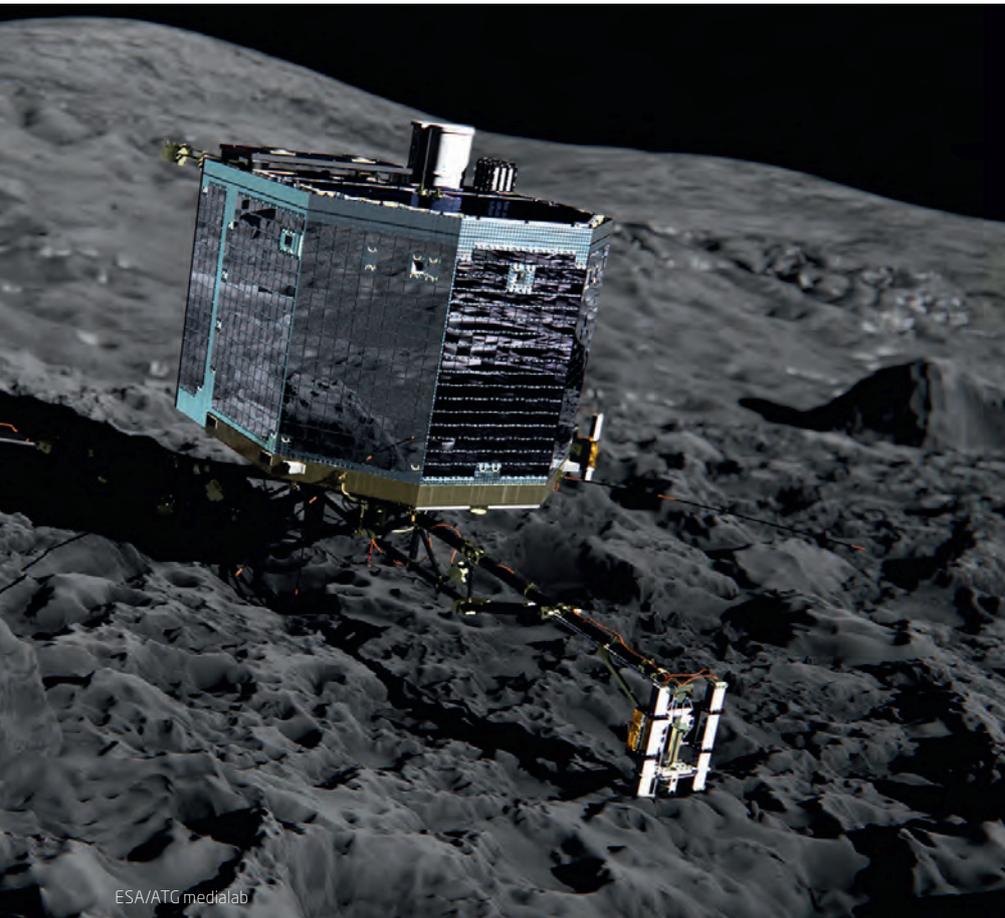
Im November – der 11.11. wurde dabei als Termin eher willkürlich ausgewählt – ist es dann so weit: Aus einer ca. 1000m hohen Umlaufbahn heraus wird der huckepack mitfliegende knapp 1m × 1m × 1m große Philae von der Muttersonde getrennt. Auf einer stark elliptischen Abstiegsbahn fällt er dann der Oberfläche entgegen. Die Lage von Philae wird dabei durch einen Kreisel stabi-

lisiert, um sicherzustellen, dass seine drei beweglichen Beine in die Richtung des Kometen weisen. Sie haben einen Standradius von 2,80m, und an ihren Enden sitzen kleine Eisbohrer, die den Lander unmittelbar nach dem Bodenkontakt festkrallen sollen.

Berührung mit einer fremden Welt

Beim ersten Kontakt mit dem Boden wird eine Kaltgasdüse an der Oberseite gezündet, die Philae auf den Kometen drückt. Da noch niemand die Oberflächenbeschaffenheit des Kometenkerns kennt – ist sie weich wie Pulverschnee oder hart wie Gletschereis? Ist sie flach, wellig, durchfurcht oder mit scharfen Spitzen besetzt? – wird Philae außerdem sofort nach seinem Aufsetzen zwei Harpunen in den Eiskern schießen, um sich am Kometen fest zu verankern.

Im Gegensatz zu einer Mond- oder Marslandung stellt das weiche Aufsetzen auf der Kometenoberfläche kein Problem dar. Die Schwierigkeit liegt vielmehr darin, dass die Landeeinheit auch auf der Oberfläche bleibt. Aufgrund der äußerst geringen Schwerkraft würde bereits ein geringfügiges Zurück-



ESA/ATG medialab

▲ Abb. 10: So könnte Philae im November auf dem Kometen sitzen – wenn dessen Oberfläche wirklich so stabil ist wie in dieser künstlerischen Darstellung.

federn beim Aufsetzen dazu führen, dass Philae zunächst sang- und klanglos im Weltall verschwindet. Zwar würde er mit Sicherheit nach einiger Zeit wieder auf der Kometenoberfläche aufsetzen, da die Fluchtgeschwindigkeit nicht erreicht werden kann, aber das Ziel ist eine kontrollierte Landung mit ersten Messungen direkt danach.

Da die Topographie des Kometen weitestgehend unbekannt ist, war die Entwicklung von Philae eine technische Herausforderung: Er musste gewissermaßen so intelligent und robust konstruiert sein, dass er mit allen nur denkbaren Bedingungen klarkommt. Philae ist auf nahezu allen Seiten mit Solarzellen verkleidet, die im Mittel etwa acht Watt an elektrischer Energie für die wissenschaftlichen Experimente erzeugen können. Da die verfügbare Sonnenenergie in diesem sonnenfernen Bereich nur etwa ein Zehntel der erdnahen Strahlung beträgt, ist die erzeugbare Energie auf einem Kometen ein knappes und wertvolles Gut.

Philae besitzt zusätzlich Primär- und Sekundärbatterien zum Zwischenspeichern der Energie, und alle Vorgänge auf der Landeeinheit werden von einem zentralen, redundant ausgelegten Bordcomputer geregelt.

Neun Kameras sind an Bord, die Detail-, Panorama- und Stereoaufnahmen liefern. Mit automatisierten Vor-Ort-Messungen werden die chemische Zusammensetzung, die Oberflächeneigenschaften sowie der innere Aufbau des Kometen untersucht. Ein Bohrer entnimmt Proben und gibt sie an die Analysegeräte weiter.

Bei der Analyse der Struktur und Eigenschaften des Kometenkerns geht es vor allem um die Oberflächenbeschaffenheit, die physikalischen Eigenschaften des Kometenkerns sowie um die Schichtungsstruktur und die globale interne Struktur. Zudem sollen die Auswirkungen zeitlicher Variationen beobachtet und untersucht werden, die durch den Tag- und Nachtzyklus sowie die Schweifbildung bei der Annäherung an die Sonne entstehen. Das Kontrollzentrum des Landegeräts Philae der Rosetta-Mission befindet sich im Nutzerzentrum für Weltraumexperimente (»Microgravity User Support Center«) des DLR in Köln.

Das Philae-Team ist für die Steuerung und den Betrieb des Landers verantwortlich, unterstützt vom wissenschaftlichen Partnerzentrum bei der französischen Raumfahrtorganisation CNES in Toulouse. Philaeas

Schicksal ist – eine erfolgreiche Landung und Verankerung vorausgesetzt – im Prinzip vorprogrammiert: Entweder wird er durch das Ausblasen und Wegbrechen der Oberfläche in den Schweif mitgerissen oder er erleidet den Wärmetod, wenn die gegen die anfängliche Kälte isolierte Elektronik überhitzt wird. Aber vielleicht übersteht Philae wider Erwarten all diese Attacken?

17 Monate im Bann des Kometen

Rosetta wird Churyumov-Gerasimenko insgesamt über einen Zeitraum von 17 Monaten umkreisen und ihn auf seiner Reise durch das innere Sonnensystem begleiten. Wir dürfen eine außerirdische »Live-Show« allererster Güte erwarten, denn Rosetta erlebt aus nächster Nähe, wie sich der Komet verändert, wenn er der zunehmenden Intensität der Sonnenstrahlung ausgesetzt ist. Der Hauptteil der wissenschaftlichen Mission erfolgt aus einer sicheren, zunächst etwa zehn Kilometer hohen Umlaufbahn, die in den nachfolgenden Wochen immer weiter abgesenkt wird. Der Orbiter trägt elf wissenschaftliche Instrumente zur Fernerkundung des Kometen: Die Kameras und Spektrometer an Bord arbeiten in einem breiten Spektrum (Ultraviolett, Visuell, Infrarot, Mikrowellen). Mit Massenspektrometern, Instrumenten zur Isotopenanalyse und Staubanalysatoren wird die Zusammensetzung von Gas und Staub erforscht. Ein Radiowellenexperiment durchleuchtet den Kometen, ein Plasmatdetektor ermittelt die Wechselwirkung mit dem Sonnenwind.

Während Rosetta beständig den Kometen umrundet, nähert sich das Dreiergespann – Sonde, Landeeinheit und Komet – auf seiner Bahn immer mehr der Sonne. Die zunehmende Sonneneinstrahlung löst Gase und Partikel aus dem Kometen, die einen immer größer werdenden Schweif bilden. All diese Veränderungen werden live zur Erde übertragen. Noch ist nicht bekannt, wie viel Gas und Staub der Himmelskörper diesmal verlieren wird. 1982/83 betrug der Gas- und Staubverlust 220kg/s. Zehn Jahre später, 2002/03, waren es lediglich 60kg/s. Die größte Annäherung an die Sonne, das Perihel, erreicht das Trio (Philae wird dann kaum noch aktiv sein und vielleicht schon vom Kometenkern davongebblasen worden sein) schließlich im August 2015: Es ist dann 193 Millionen Kilometer von unserem Zentralgestirn entfernt. Zum Vergleich: Erde und Sonne trennen 150 Millionen Kilometer voneinander.

Wer auf der Erde das Sagen hat

Gesteuert wird die Rosetta-Mission vom Europäischen Satellitenkontrollzentrum ESA/ESOC in Darmstadt. Hierfür steht ein missionsspezifisches Kontrollzentrum zur Verfügung, das Rosetta Mission Operations Centre (RMOC). Hier laufen alle Elemente – von der Planung über die Simulation bis zur Kontrolle – zusammen. Während aller Missionsphasen ist das RMOC die Schnitt- und Kommandostelle zur Raumsonde. In Anbetracht der Entfernungen – Churyumov-Gerasimenko ist bei der Ankunft von Rosetta 480 Millionen Kilometer von der Erde entfernt – sowie der zur Verfügung stehenden Energie kann Philae die Messergebnisse nicht direkt zur Erde übertragen. Der Rosetta-Orbiter dient hier als Relaisstation.

Aber auch von Rosetta erhalten die Darmstädter die Daten nicht direkt: Dazu sind leistungsfähige Antennensysteme erforderlich, wie sie bis 2003 nur den USA – deren extra große Schüsseln bei Rosettas Erwachen lauschten – und Russland zur Verfügung standen. Deshalb errichtete die ESA ein eigenes Antennennetz für interplanetare Verbindungen und Tiefraummissionen. Dazu wurden auf drei Kontinenten Parabolantennen mit jeweils 35 Metern Durchmesser aufgebaut: in New Norcia (Australien), Cebreros (Spanien) und Malargüe (Argentinien).

Die Hauptarbeit für Rosetta leistet die Station in New Norcia. Die Hochleistungsantenne dient sowohl der Datenübertragung von der Sonde als auch dem Senden von Kommandos im S- und X-Band. Darüber hinaus werden die Signale zur Bestimmung der Flugbahnparameter der Raumsonde genutzt. Während der kritischen Annäherungs- und Landephase in der zweiten Hälfte 2014 wird auch die Antenne von Malargüe zugeschaltet. Für Informationen Rosettas ist die lange Reise damit aber keineswegs zu Ende, denn die ESOC-Zentrale leitet die Daten wiederum zum speziell eingerichteten Lander-Kontrollzentrum des DLR in Köln weiter, das auch die Verantwortung für Philae hat. Ein weiteres Zentrum in Toulouse (Frankreich) erhält die Daten aus Köln. Die französischen Kollegen im Lander Science Control Centre sind für die Formulierung und Durchführung der wissenschaftlichen Arbeiten des Landemoduls zuständig. Alle notwendigen Befehle werden über Köln und Darmstadt weiter zu Rosetta übermittelt.

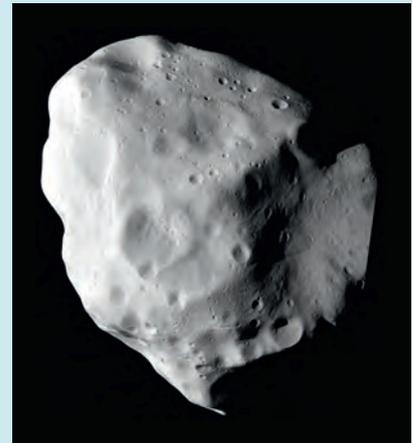
Bei der Steuerung von Orbiter und Landeeinheit ist die Laufzeit von jeweils 30 Licht-

IM DETAIL

Rosettas Schleifen durchs Sonnensystem

Vier Swing-by- bzw. Gravity-Assist-Manöver absolvierte Rosetta auf ihrer zehnjährigen Reise. Sie bezweckten zweierlei: Zum einen erhöhte sich der Radius ihrer Umlaufbahn um die Sonne, zum anderen ihre Geschwindigkeit auf insgesamt 54000km/h. Diese Auftankrunden hatten die Planer so geschickt gewählt, dass Rosetta dabei zweimal den Kleinplanetengürtel durchqueren musste und somit ein Vorbeiflug an mindestens zwei weiteren Kleinkörpern des Sonnensystems möglich war, bevor es zum Kometen ging. Die Tabelle zeigt die »Tankstellen« und die Vorbeiflug-Passagen an Objekten des Kleinplanetengürtels.

Bei ihren drei Swing-by-Manövern an der Erde nahm die Kometensonde nicht nur Energie auf. Ihre Kameras schossen fantastische Aufnahmen von der Erde und dem Mond. Dabei konnten die Wissenschaftler die Instrumente an Bord von Rosetta über-



ESA 2010 MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/RSSD/INTA/UPM/DASP/IDA

▲ Der Kleinplanet (21) Lutetia war der letzte Himmelskörper, den Rosetta – im Juli 2010 – vor dem langen Winterschlaf besuchte.

prüfen und kalibrieren. Die Vorbeiflüge boten auch eine günstige Gelegenheit, das Zusammenspiel zwischen Bodenstationen und Raumsonde zu testen.

Stationen von Rosetta

Datum	»Auftanken«	Vorbeiflug	geringste Entfernung
5. März 2005	Erde	Erde	1955km
25. Februar 2007	Mars	Mars	250km
12. November 2007	Erde	Erde	5295km
5. September 2008	–	(2867) Šteins	803km
13. November 2009	Erde	Erde	2481km
10. Juli 2010	–	(21) Lutetia	3162km

minuten für den Hin- und Rückweg zu berücksichtigen. Die vom Orbiter empfangenen Daten werden an ein eigenes Rosetta Science Operations Centre (RSOC) weitergeleitet, das sich am European Space Astronomy Centre (ESAC) in der Nähe von Madrid in Spanien befindet. Die Rohdaten werden dort aufbereitet und anschließend den Wissenschaftsteams der einzelnen Instrumente zur Verfügung gestellt.

Rosettas Schicksal nach dem Dezember 2015 ist übrigens noch nicht absehbar: Abhängig vom Zustand der Sonde und dem verbleibenden Treibstoff sind verschiedene Szenarien denkbar, u.a. eine Verlängerung der Mission oder aber der kontrollierte Absturz auf den Kometen. 67P/Churyumov-Gerasimenko jedenfalls wird sich nach 2015 auf seiner Umlaufbahn um die Sonne wie-

der von dieser entfernen, bis er mit 861 Millionen Kilometern den größten Abstand, das Aphel, erreicht – dann mit Sicherheit ohne seine europäischen Begleiter.

Dieser Artikel entstand in Zusammenarbeit mit dem Outreach von ESA und DLR

SURFTIPPS



- Rosettas Homepage
- Philaes Homepage
- Missions-Blog
- Rosetta auf Twitter
- Rosetta auf Facebook

Kurzlink: oc1m.de/03vd

Kometen – Kleinkörper aus Eis & Staub

Neue Erkenntnisse der Kometenforschung

von Harald Krüger

A. Fujii

▲ Abb. 1: Kometen gehören zu den kleinsten Körpern des Sonnensystems, können aber zu besonders großartigen Erscheinungen am Himmel anwachsen. Das Bild zeigt McNaught, den bis dato letzten wirklich Großen Kometen, im Jahr 2007.

Die Kometenforschung hat in den letzten Jahrzehnten durch Weltraummissionen und erdgebundene Beobachtungen große Fortschritte erzielt. Mehrere Kometen wurden von Raumsonden besucht, winzige Mengen von Kometenmaterial konnten für Untersuchungen zur Erde gebracht werden. Die Kometenkerne sind Überreste aus der Entstehungsphase unseres Sonnensystems und gelten als Prüfsteine für gängige Theorien über dessen Entstehung und frühe Entwicklung.

Die Kometen gehören zu den spektakulärsten Himmelserscheinungen. Ihr plötzliches Auftreten hat die Menschen seit Jahrtausenden ebenso fasziniert wie erschreckt, weshalb sie oft als Unheilsbringer angesehen wurden. So ist der berühmteste von ihnen, der Halleysche Komet, auf dem Wandteppich von Bayeux dargestellt, der die Eroberung Englands durch die Normannen im Jahr 1066 zeigt.

Für die moderne astronomische Forschung haben die Kometen eine ganz besondere Bedeutung. Seit ihrer Entstehung vor über vier Milliarden Jahren blieben sie in den Außenbereichen unseres Sonnensystems nahezu unverändert erhalten. Ähnlich wie die Meteoriten stellen sie Urmaterial aus der Frühzeit des Sonnensystems dar und liefern wertvolle Informationen über diese ganz frühe Phase. Was wissen wir über die Entstehung und den Aufbau der Kometen und was können wir durch sie über die Entstehung und die Entwicklung unseres und anderer Sonnensysteme lernen?

Entschleierung der Kometenkerne

Durch Beobachtungen der Gashülle (Koma) eines Kometen von der Erde aus lässt sich die Zusammensetzung des Kometenmaterials grob bestimmen. Die Kometenkerne sind jedoch nur schwer zu beobachten. Da sie nur wenige Kilometer groß sind und ihre Oberfläche sehr dunkel ist, sind sie in großer Entfernung von der Sonne sehr lichtschwach (siehe Kasten »Grundlagen«). In Sonnennähe werden sie dagegen von der wesentlich helleren Koma überstrahlt. Bricht ein Kometenkern auseinander, wird frisches Material aus seinem Inneren freigesetzt, das noch nicht während früherer Umläufe des Kometen um die Sonne verändert wurde. Im Detail lassen sich die Struktur und die Oberflächen der Kometenkerne jedoch nur mit Raumsonden untersuchen.

Im Jahr 1986 war daher der Kern des Kometen 1P/Halley bei seiner Wiederkehr ins innere Sonnensystem das Ziel von insgesamt fünf Raumsonden. Die europäischen Sonde Giotto kam ihm am nächsten und konnte erstmals einen Kometenkern aus nächster Nähe fotografieren (Abb. 2). Die Bilder zeigen einen etwa 15km × 7km × 7km großen Kern, auf dem sich einzelne Aktivitätsgebiete befinden. Mehrere vom Kern ausgehende feingebündelte Staubstrahlen (Jets) wurden identifiziert. Nur etwa 10% bis 15% der Oberfläche von Halley waren aktiv und setzten Gas und Staub frei.

Frühere Beobachtungen hatten ergeben, dass die Kometenkerne zu einem erheblichen Teil aus Wassereis bestehen müssen. In den 1950er-Jahren entwarf daher der Kometenforscher Fred Whipple das Bild, das die Kometenkerne wie ein »schmutziger Schneeball« aufgebaut sein müssten. Aufgrund dieser Vorstellung hatte man eine recht helle Oberfläche des Kerns von Halley erwartet. Die Kometenforscher waren deshalb überrascht, dass der Kern nur ca. 4% des einfallenden Sonnenlichts reflektierte. Seine Oberfläche war damit so schwarz wie Kohle. Spätere Raumsondenuntersuchungen anderer Kometenkerne bestätigten diesen Befund. Die Ursache für diese extrem dunkle Oberfläche der Kometenkerne ist bisher unklar.

Material des Urnebels

Weiterhin wurde die Zusammensetzung einer Vielzahl von Staubkörnchen aus der Koma des Halleyschen Kometen untersucht. Es zeigte sich, dass die Häufigkeiten der schwerflüchtigen Elemente in diesen Teilchen den Häufigkeiten glichen, die in Meteoriten und in der Atmosphäre der Sonne (Photosphäre) gemessen wurden. Da die äußeren Schichten der Sonne noch heute die Zusammensetzung des Urnebels besitzen, aus dem unser Sonnensystem vor 4,567 Milliarden Jahren entstand, legte dies den Schluss nahe, dass alle diese Himmelskörper ihren Ursprung in demselben Urnebel gehabt haben müssen. Die Kometen stellen daher Urmaterial aus der ganz frühen Phase des Sonnensystems dar.

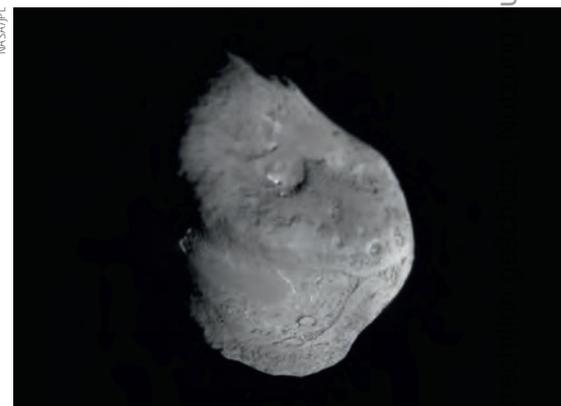
In den Staubkörnchen von Halley wurden auch die Häufigkeiten von organisch-chemischen Verbindungen untersucht. Die organische Komponente besteht überwiegend aus ungesättigten Kohlenwasserstoff-Polymer-Verbindungen, die Moleküle aus C-H und C-H-N enthalten. Einige Isotopenverhältnisse wurden ebenfalls gemessen. Manche Teilchen zeigten extreme $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ -Verhältnisse von bis zum 50-fachen des irdischen Werts.

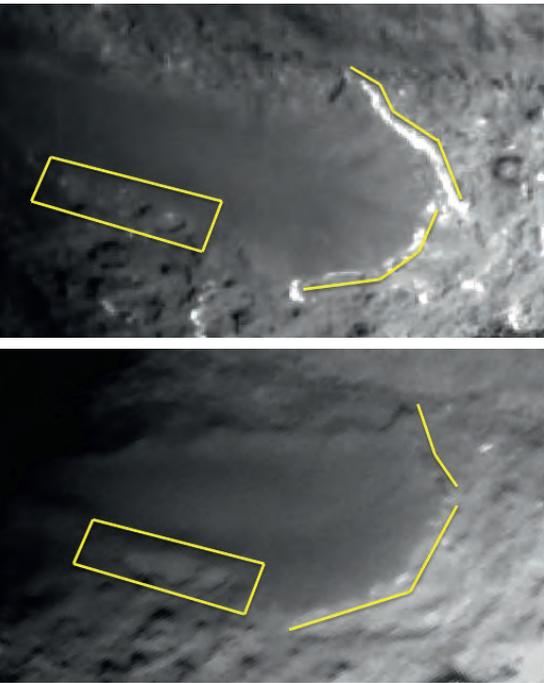
Beim Vorbeiflug am Halleyschen Kometen konnte auch die Dichte des Kerns bestimmt werden. Dabei ergab sich ein überraschend geringer Wert von etwa 350kg/m³. Ein derart niedriger Wert wurde auch von späteren Missionen zu anderen Kometen bestätigt. Das bedeutet, dass das Kometenmaterial sehr porös sein muss. Mit dieser geringen Dichte würde ein Kometenkern auf einem irdischen Ozean wie ein Eisberg schwimmen. Allerdings wäre im Gegensatz



▲ Abb. 2: Erst Raumsonden ermöglichten den direkten Blick auf Kometenkerne wie den von 1P/Halley, aufgenommen von der Raumsonde Giotto (oben) sowie 19P/Borelly, aufgenommen von der Raumsonde Deep Space 1 (unten).

▼ Abb. 3: Der Kern des Kometen Tempel 1, aufgenommen von der Muttersonde von Deep Impact vor dem Einschlag des Impaktors (oben) und direkt nach dem Einschlag (unten).





◀ Abb. 4: Details auf der Oberfläche von Tempel 1. Oben beim Vorbeiflug von Deep Impact im Jahr 2005, unten im Jahr 2011 aufgenommen von der Stardust-Sonde. Deutlich sind Veränderungen zu erkennen. Die gelben Linien markieren ca. 20m hohe Klippen, die innerhalb von etwa sechs Jahren zum Teil wegerodiert sind. Die kraterähnlichen Strukturen in dem gelben Rechteck haben sich stark verändert.

zu einem Eisberg der größte Teil des Kometenkerns oberhalb der Wasseroberfläche. Die Ergebnisse der Halley-Missionen stellen einen großen Schritt in der Erforschung der Kometen dar.

Nach den Flügen zum Halleyschen Kometen dauerte es 15 Jahre, bis wieder eine Raumsonde einen Kometenkern besuchte. Im Jahr 2001 flog die Sonde Deep Space 1 am Kometen 19P/Borelly vorbei (Abb. 2). Sie bestätigte im Wesentlichen die Ergebnisse der Halley-Missionen.

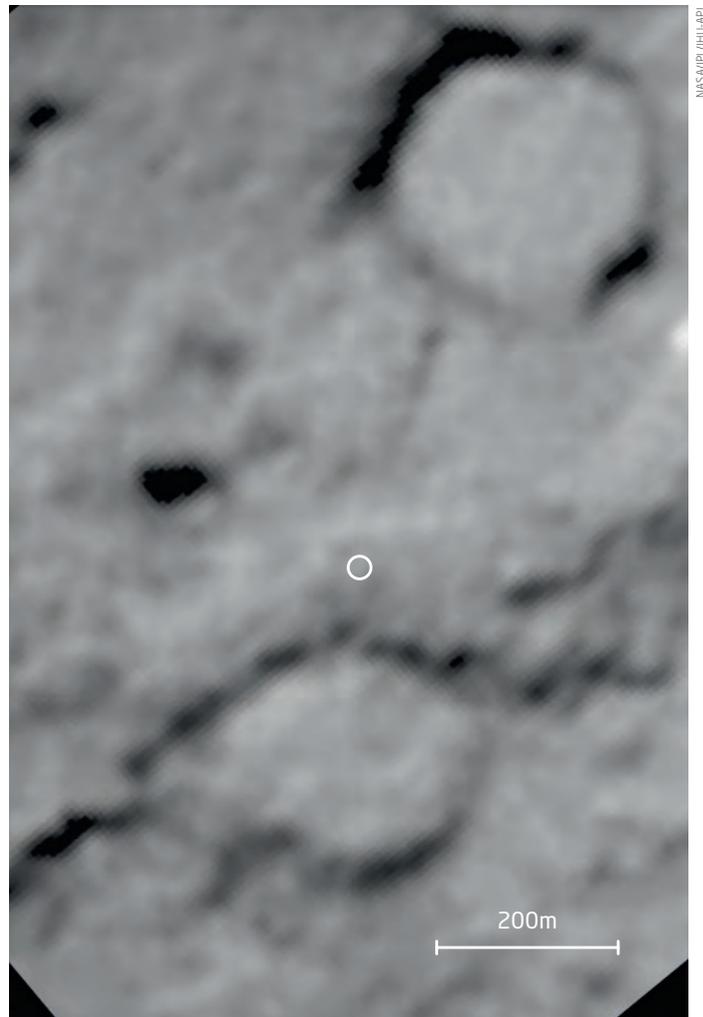
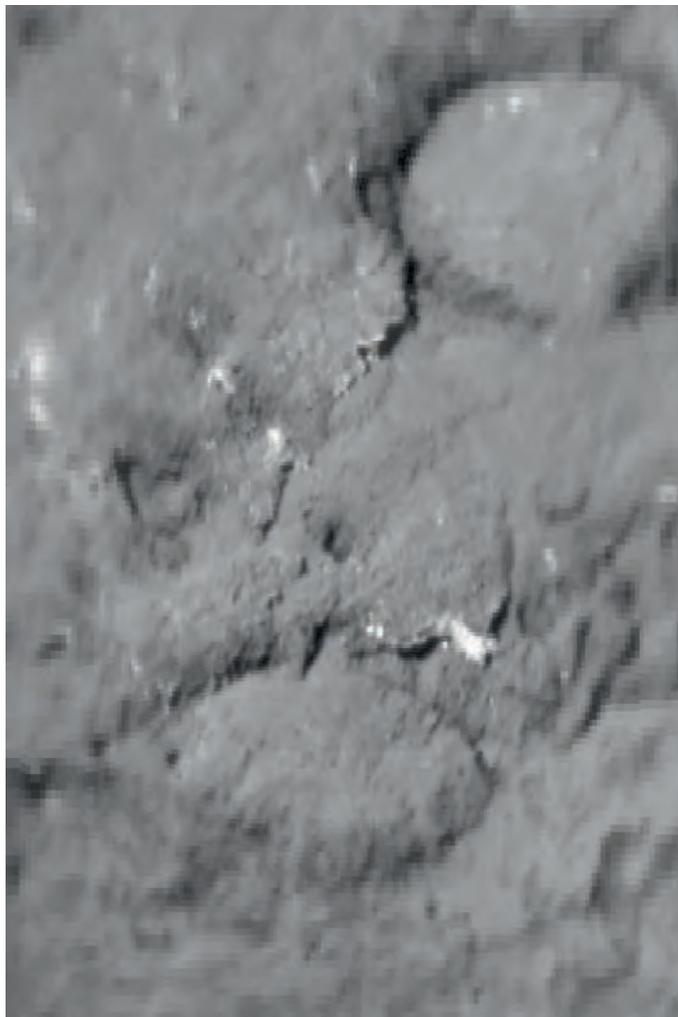
Beschuss eines Kometenkerns

Spektakulär war im Jahr 2005 die Mission Deep Impact. Sie lenkte einen 372kg schweren Impaktor mit einer Geschwindigkeit von

10,3km/s auf den Kern des Kometen Tempel 1 (offizielle Bezeichnung 9P/Tempel). Man konnte damit zum ersten Mal frisches Kometenmaterial von unterhalb der Kernoberfläche gezielt untersuchen. Beim Einschlag wurden etwa 10000 bis 100000 Tonnen Kometenmaterial freigesetzt. Für die Kamera der am Kern vorbeifliegenden Muttersonde blieb der künstliche Einschlagkrater jedoch hinter der Wolke aus Auswurfmaterial verborgen. Die Größe des Kraters musste daher aus der Menge des ausgeworfenen Materials abgeschätzt werden, woraus sich ein Kraterdurchmesser von ca. 150m ergab. Überraschenderweise war die beim Einschlag freigesetzte Menge an Wasser wesentlich geringer als die an freigesetztem Staubmaterial. Der Komet glich daher mehr einem eisigen Schmutzball als einem Whippleschen schmutzigen Schneeball. Inwieweit diese Zusammensetzung für Kometenkerne typisch ist, müssen Untersuchungen weiterer Kometenkerne zeigen.

Eine interessante Frage betraf die mineralogische Zusammensetzung des Kometenmaterials von Tempel 1. Nach früheren Beobachtungen des Kometen Hale-Bopp von der Erde aus bestehen die Staubkörner in dessen

▼ Abb. 5: Die Einschlagregion von Deep Impact, links im Jahr 2005 vor dem Einschlag des Impaktors, rechts 2011 etwa sechs Jahre später. Der künstliche Einschlagkrater hat einen Durchmesser von ca. 150m und ist sehr flach. Das Bild von 2005 ist detailreicher, weil es mit einer besseren Kamera aufgenommen wurde.



Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

Koma zum großen Teil aus kristallinen und amorphen wasserfreien Silikaten. Dabei waren an Magnesium reicher Olivin (Forsterit) und Pyroxen (Enstatit) besonders häufig. Infrarotbeobachtungen der Einschlagswolke mit dem Weltraumteleskop Spitzer ergaben für Tempel 1 ebenfalls einen großen Anteil dieser Minerale. Zusätzlich deuten die Beobachtungen auf eisenreichen Olivin (Fayalit), eine Reihe wasserhaltiger (hydrierter) Minerale und Karbonate hin. Das Kometenmaterial muss sich demnach während seiner Geschichte wesentlich erwärmt haben, so dass flüssiges Wasser für die Bildung dieser Minerale in ausreichender Menge vorhanden war.

Die Suche nach dem Einschlagkrater

Die Bilder von Tempel 1 zeigen Oberflächenstrukturen, die durch einen schichtartigen Aufbau des Kerns verursacht sein könnten (Abb. 3). Diese Strukturen könnten ihren Ursprung in der Entstehung des Kerns haben oder durch Erosionsprozesse an dessen Oberfläche entstanden sein. Weiterhin sind auf den Bildern kreisförmige Strukturen zu erkennen, die Mondkratern sehr stark ähneln. Inwiefern es sich hier – wie auf dem Mond – um Einschlagkrater handelt, ist bislang ungeklärt. Auf der Kernoberfläche sind auch zwei sehr flache Gebiete zu erkennen, in denen die Höhenunterschiede maximal einige 10m betragen. Hier könnte Wasser geschmolzen und wieder gefroren sein. Eines dieser Gebiete wird durch einen etwa 20m hohen Steilhang begrenzt, und in dem zweiten wurde mit der Sonde Deep Impact tatsächlich Wassereis an der Oberfläche nachgewiesen.

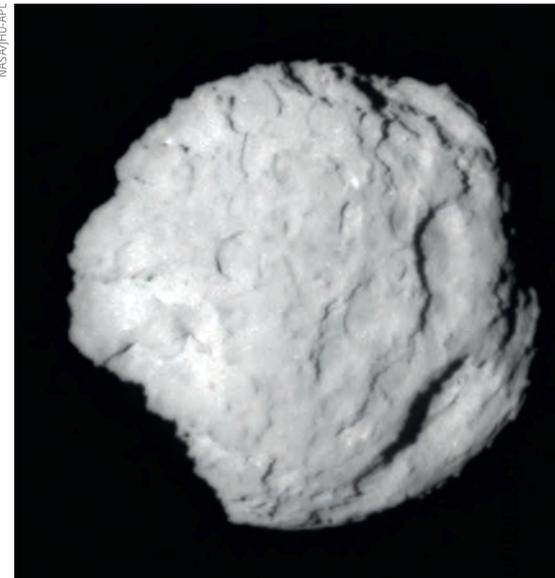
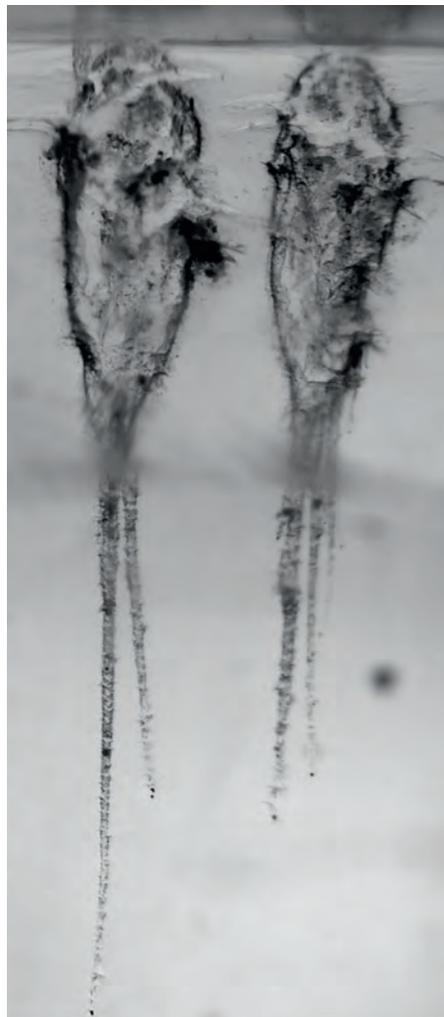
Der künstliche Einschlagkrater des Impaktors von Deep Impact war auf den Bildern, die die Sonde zur Erde gefunkt hatte, hinter der Wolke aus Auswurfmaterial verborgen geblieben. Tempel 1 bekam daher im Jahr 2011 ein zweites Mal Besuch: Die Sonde Stardust, die einige Jahre zuvor am Kometen Wild 2 vorbeigeflogen war, wurde so umgelenkt, dass sie den Kometen Tempel 1 erreichen konnte. Eines der Ziele dieses Vorbeiflugs war die Suche nach dem künstlichen Einschlagkrater. Der Krater wurde tatsächlich identifiziert und dessen aus den Untersuchungen der Auswurfwolke abgeleiteter Durchmesser von ca. 150m konnte bestätigt werden (Abb. 4).

Ein weiterer interessanter Befund waren Veränderungen auf der Oberfläche durch die Aktivität des Kerns. In dem Zeitraum

zwischen den beiden Vorbeiflügen hatte Tempel 1 gerade einen Umlauf um die Sonne absolviert. Veränderungen zeigten sich vornehmlich an besonders exponierten Stellen, wie an einem Steilhang und an runden, kraterähnlichen Strukturen (Abb. 5). Die Aktivität war demnach, ähnlich wie bei Halley, nicht gleichmäßig über die Kernoberfläche verteilt, sondern konzentrierte sich auf einzelne kleine Gebiete.

Kometenstaub im Labor

Einen Erfolg ganz anderer Art stellte die Mission Stardust dar. Sie flog im Jahr 2004 am Kern des Kometen Wild 2 vorbei (Abb. 6). Dabei wurden Staubteilchen in der Koma des Kometen mit einem speziell entwickelten Kollektor aus hochporösem Material, sogenanntem Aerogel, eingefangen. Zwei Jahre später wurde dieser Kollektor in einer Rückkehrkapsel erfolgreich zur Erde gebracht. Schon mit dem bloßen Auge ließen sich Tausende Kometenteilchen anhand ihrer Spuren im Aerogel erkennen (Abb. 7). Nach Extraktion der Körnchen aus dem Aerogel stehen erstmals winzige Mengen Kometenmaterials für Untersuchungen in irdischen Labors zur



▲ Abb. 6: Der Kern des Kometen Wild 2, aufgenommen von der Sonde Stardust. Es ist nicht klar, ob es sich bei den kraterähnlichen Strukturen um Einschlagkrater handelt.

▼ Abb. 7: Spuren von Staubteilchen des Kometen Wild 2 im Aerogel des Stardust-Staubkollektors. Die Staubkörner befinden sich unten an den Enden der Spuren, deren Länge etwa 1cm beträgt.



GRUNDLAGEN

Aufbau der Kometen

Den Großteil ihres »Lebens« verbringen die Kometen weit weg von der Sonne in den kalten äußeren Bereichen des Sonnensystems. Dort waren die Kometenkerne wie in einer »kosmischen Kühltruhe« tiefgefroren und überdauerten als Brocken aus Eis und Gesteinsmaterial von einigen Kilometern Größe die Jahrmilliarden seit ihrer Entstehung nahezu unverändert. Wenn sich ein Kometenkern der Sonne nähert, setzt eine Verwandlung ein: Seine Oberfläche wird durch die einfallende Sonnenstrahlung erwärmt und es verdampfen flüchtige Bestandteile wie zum Beispiel Wassereis. Das freigesetzte Gas bewegt sich von der Kernoberfläche weg und reißt feste mikroskopisch kleine Gesteinspartikel – sogenannte Staubteilchen – mit sich. Daraus bildet sich eine nahezu kugelförmige Atmosphäre aus Gas und Staub (Koma) um den Kometenkern, die eine Größe von etwa 100000km erreichen kann.

Das Gas in der Koma ist der ultravioletten Strahlung der Sonne und dem Sonnenwind, einem ständig von der Sonne ausgehenden Strom elektrisch geladener Teilchen, ausgesetzt. Die UV-Strahlung dissoziiert und ionisiert die meisten Gasmoleküle. Der dabei frei werdende Wasserstoff wird in einer riesigen Neutralgaswolke um den Kometen verteilt, die erheblich ausgedehnter als die übrige Koma ist. Schließlich wird das ionisierte Gas durch den Sonnenwind aus der Koma weggeblasen und bildet den Ionenschweif des Kometen. Dieser hat eine durch das Ion CO^+ verursachte typische Blaufärbung und zeigt etwa in die der Sonne entgegengesetzte Richtung vom Kometen weg.

Das Sonnenlicht übt auch auf die Staubteilchen in der Koma einen Druck aus und transportiert diese ebenfalls in die der Sonne entgegengesetzten Richtung aus der Koma weg. Sie sind allerdings wesentlich langsamer als die Ionen im Ionenschweif. Mit zunehmender Entfernung vom Kometenkern wird ihre Winkelgeschwindigkeit in Bezug zur Sonne geringer und sie bleiben hinter dem Kometen zurück. Hierdurch erhält der Staubschweif seine typische gebogene Form. Die Staubteilchen streuen das Sonnenlicht, was dem Staubschweif seine



▲ Schematischer Aufbau eines Kometen.

charakteristische gelblich-weiße Farbe verleiht (vgl. Abb.).

Die Kometenschweife können eine Länge von mehr als 100 Millionen Kilometern erreichen. Ein Kometenschweif ist damit für kurze Zeit eines der weitaus größten Objekte im Sonnensystem. Allerdings sind die Staub- und Gasdichten dort extrem gering. Fliegt eine Raumsonde durch einen Kometenschweif, sind sehr empfindliche Messgeräte erforderlich, um seine Existenz überhaupt nachzuweisen.

Schließlich verteilen sich größere Teilchen von etwa Millimetern bis Zentimetern Größe entlang der Bahn des Kometenkerns und laufen wie dieser um die Sonne. Kreuzt die Erde eine solche Kometenspur (Dust Trail), können die Teilchen in die Erdatmosphäre eindringen, und es kommt vermehrt zu Sternschnuppen am Nachthimmel. Die meisten der jährlich wiederkehrenden Meteorströme konnten bestimmten Kometen zugeordnet werden.

Durch den Verdampfungsprozess, bei dem Staub und Gas in den umgebenden

Weltraum abgegeben werden, verliert der Kometenkern bei jeder Annäherung an die Sonne einen kleinen Teil seiner Masse. Nach etwa 1000 Umläufen um die Sonne hat er daher den größten Teil seines Materials verloren. Übrig bleibt ein nicht mehr aktives Objekt, das starke Ähnlichkeiten mit einem Kleinplaneten aufweist. Ein Beispiel hierfür könnte der ca. 5km große Kleinkörper (3200) Phaethon sein. Er kommt der Sonne auf seiner sehr exzentrischen Bahn bis auf 0,14AE nahe. Dabei erwärmt sich seine Oberfläche auf etwa 700°C. Phaethon zeigt geringe Anzeichen von Aktivität, deren Ursache jedoch bisher unklar ist. Sublimation von Wassereis wie bei aktiven Kometen kommt hierbei höchstwahrscheinlich nicht in Frage. Manche Kometen zerbrechen bei ihrer Annäherung an die Sonne und lösen sich in kleinere Bestandteile oder ganz in Staub auf. Im November letzten Jahres erlitt dieses Schicksal C/2012 S1 (ISON) bei seinem Durchgang durch das Perihel sehr nahe an der Sonne.

E. Kölmhofer, H. Raab, Johannes-Kepler-Sternwarte, Linz, Österreich/H. Kogler

Verfügung. Damit können sie wesentlich genauer analysiert werden, als dies an Bord einer Raumsonde möglich wäre.

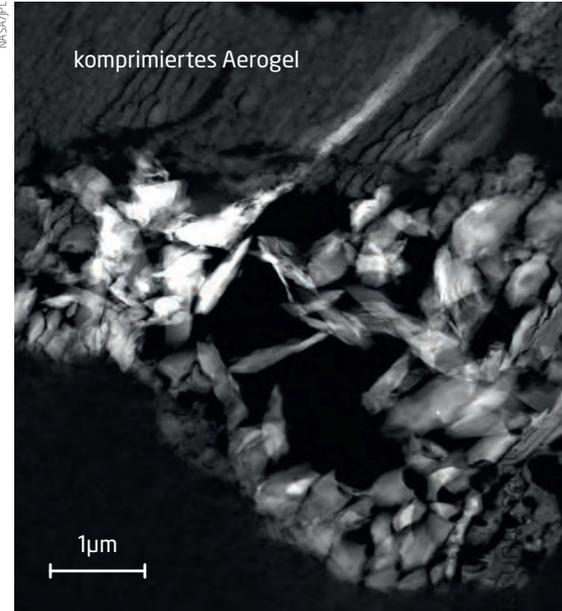
Was haben die Untersuchungen dieser Staubkörnchen ergeben? Die Analysen einer Vielzahl von Partikeln lieferten ähnliche Elementhäufigkeiten wie zuvor die Untersuchungen von Staubteilchen des Halleyschen Kometen. Dies bestätigte das Ergebnis der Halley-Missionen, dass die Kometenkerne zu den ältesten Überresten aus der Entstehungsphase des Sonnensystems gehören. Weiterhin enthalten die eingesammelten Kometenkörner neben silikatischen Partikeln auch mineralische Bestandteile, die weit oberhalb von 1000°C entstehen (Abb. 8). Diese müssen im inneren Bereich der Scheibe aus Gas und Staub entstanden sein, aus der sich unser Sonnensystem bildete (siehe Kasten »im Detail«). Nur dort waren die Temperaturen ausreichend hoch. Das Vorkommen solcher Minerale in Kometen war eine Überraschung, da die Forscher bis dahin davon ausgingen, dass das Kometenmaterial in den kalten äußeren Bereichen des Sonnensystems entstanden ist. Offenbar wurde der solare Urnebel viel stärker von innen nach au-

ßen durchmischt als bis dahin angenommen, sodass Hochtemperaturminerale aus dem inneren Sonnensystem nach außen transportiert und dort in die Kometenkerne eingelagert werden konnten.

Ursprung für irdisches Leben?

Beobachtungen der Kometen Hale-Bopp und Hyakutake ergaben, dass diese eine Vielzahl von organischen Substanzen enthalten, die auch im interstellaren Medium vorhanden sind. Organische Substanzen wurden ebenfalls in den Stardust-Proben nachgewiesen. Diese enthalten hohe Anteile an Kohlenstoff und Stickstoff. Besonders spektakulär war der Nachweis von Glyzin, der einfachsten Aminosäure, die in Proteinen und damit in irdischem Leben vorkommt. Dies gab Spekulationen neue Nahrung, dass die Vorläufer des irdischen Lebens aus dem Weltraum, unter anderem durch Kometen, auf die Erde gebracht worden sein könnten.

Ein weiterer interessanter Befund der Staubuntersuchungen von Wild 2 (offizielle Bezeichnung 81P/Wild) ist der Nachweis von mikroskopisch kleinen Überresten des inter-



▲ Abb. 8: Mineralkörnchen des Kometen Wild 2, das aus dem Aerogel von Stardust extrahiert wurde. Es enthält Calcium-Aluminium-reiche Bestandteile (CAIs), die sich nur weit oberhalb von 1000°C bilden.

▼ Abb. 9: Der Kern des Kometen Hartley 2, aufgenommen von der Sonde Deep Impact.



Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung

IM DETAIL

Die Entstehung des Sonnensystems und der Ursprung der Kometen



NASA/Spitzer Science Center

◀ Abb. 1: In solchen Sternbildungsregionen wie hier im Sternbild Carina bilden sich aus Staub und Gas neue Sonnensysteme.

größte Teil der Masse sammelte sich in einer Verdichtung im Zentrum der Scheibe, aus der die Sonne entstand. In der Schei-

Unser Sonnensystem entstand aus einer interstellaren Molekülwolke, die aufgrund ihrer Schwerkraft kollabierte. Die kollabierende Wolke hatte nahezu die gleiche Zusammensetzung wie unsere heutige Sonne. Sie bestand zu 98% aus Wasserstoff und Helium mit einer geringen Beimengung von Lithium aus dem Urknall. Die übrigen 2% bestanden aus schwereren chemischen Elementen, die durch Kernfusion in früheren Sternenerationen gebildet und in den Spätphasen der Entwicklung dieser Sterne in den sie umgebenden Weltraum abgegeben worden waren. Sie waren überwiegend in kondensierter Form als sogenannte Staubpartikel im solaren Urnebel vorhanden. Der Kollaps der solaren Wolke ereignete sich vor 4,567 Mrd. Jahren, wie man durch Isotopenmessungen an Meteoriten bestimmen konnte.

Beim Kollaps der Wolke bildete sich aufgrund der Erhaltung des Drehimpulses eine rotierende Scheibe aus Gas und Staub. Der

be entstanden innerhalb einiger Millionen Jahre die Planeten, ihre Monde und die anderen Kleinkörper des Planetensystems. Winzige, nur wenige Mikrometer große Staubteilchen liefen zunächst in der Scheibe um die noch junge Sonne. Dabei kam es unweigerlich zu Zusammenstößen solcher Körnchen. Mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit konnten sie durch Adhäsionskräfte aneinander haften und zu größeren Klumpen wachsen. Die daraus entstehenden sogenannten Planetesimale wuchsen zu planetengroßen Himmelskörpern, indem sie weitere Planetesimale durch ihre Schwerkraft aufsammelten.

Die Zusammensetzung der neu entstandenen Himmelskörper variierte mit dem Abstand von der Sonne. Im inneren Bereich der Scheibe waren die Temperaturen durch die Aufheizung der noch jungen Sonne so hoch, dass die sich dort bildenden Planetesimale überwiegend aus Stoffen mit hohem Schmelzpunkt wie Metallen oder gesteinsbildenden Mineralen (u.a. Silikaten) bestanden. Aus solchen Mineralen entstanden die erdähnlichen Planeten des inneren

◀ Abb. 2: Ein Teil des Materials einer Staubscheibe um einen jungen Stern (künstlerische Darstellung) findet sich in den Kometen wieder.

Sonnensystems Merkur, Venus, Erde und Mars. Flüchtige Substanzen wie Wasser, Methan oder Kohlendioxid konnten dort nicht kondensieren.

Die Gasplaneten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun sind weiter draußen in der Scheibe entstanden. Dort bildete sich höchstwahrscheinlich zunächst ein fester Gesteinskern wie bei den erdähnlichen Planeten, der je nach Planet eine Masse von fünf bis zehn Erdmassen besaß. Diese Kerne sammelten anschließend durch ihre Schwerkraft Gas aus der sie umgebenden Scheibe auf und wuchsen weiter. Jupiter, der größte der Gasriesen, erreichte auf diese Weise stolze 318 Erdmassen. Da das Gas in der Scheibe hauptsächlich aus Wasserstoff und Helium bestand, bestehen diese Planeten heute überwiegend aus diesen beiden flüchtigen Elementen. Im Gegensatz hierzu konnten die erdähnlichen Planeten im inneren Sonnensystem durch diesen Prozess nicht weiter wachsen, da dort das leicht flüchtige Gas aufgrund der herrschenden hohen Temperaturen zu schnell von der noch jungen Sonne weggeblasen wurde.

Durch die enorme Schwerkraft Jupiters konnte sich im Bereich des Kleinplanetengürtels zwischen Mars und Jupiter kein weiterer Planet bilden. Stattdessen finden wir dort heute einen Ring aus Kleinkörpern aus der Frühphase des Sonnensystems. Wegen der hohen Populationsdichte in dieser Region waren Kollisionen sehr häufig, was zu einer Zerkleinerung der Himmelskörper und dadurch auch zu Veränderungen ihrer Zusammensetzung führte. Die Überreste solcher Objekte finden sich zum Teil als Meteorite auf der Erde. Möglicherweise sind jedoch nicht alle Kleinplaneten im Hauptgürtel entstanden, einige könnten aus weiter außen liegenden Bereichen des Sonnensystems dorthin transportiert worden sein.

Jenseits der Umlaufbahn des Planeten Neptun konnte sich kein großer Himmelskörper mehr bilden, weil dort die Populationsdichte der Planetesimale zu gering war. Stattdessen blieb dort ein weiterer Ring aus Planetesimalen übrig, der Edgeworth-Kuiper-Gürtel, benannt nach den Astronomen Kenneth Edgeworth und Gerard Kui-



NASA/JPL-Caltech/T. Pyle (SSC)

per, die seine Existenz in den 1940er- und 1950er-Jahren vorhersagten. Die Temperaturen waren dort wegen der größeren Entfernung von der Sonne so niedrig, dass flüchtige Verbindungen wie zum Beispiel Wasser kondensieren konnten. Die Objekte im Edgeworth-Kuiper-Gürtel bestehen deshalb zu einem erheblichen Teil aus Eis. Von dort stammen die meisten der kurzperiodischen Kometen mit Umlaufzeiten um die Sonne von weniger als 200 Jahren.

Möglicherweise entstanden die Planeten nicht in den Abständen von der Sonne, wo wir sie heute vorfinden. Insbesondere die Bahnen der Gasplaneten könnten sich etwa 800 Millionen Jahre nach der Entstehung des Sonnensystems verändert haben. Die Umlaufbahnen von Jupiter und Saturn entwickelten sich zu diesem Zeitpunkt wahrscheinlich in eine 2:1-Resonanz, d.h. wenn Jupiter zwei Umläufe um die Sonne machte, vollendete Saturn gerade einen Umlauf. Als Folge verstärkten sich die Schwerkraft dieser beiden Planeten periodisch so sehr, dass die Bahnen von Uranus und Neptun zeitweise stark exzentrisch wurden und weiter nach außen wanderten, möglicherweise haben beide sogar ihre Umlaufbahnen getauscht. Wegen ihrer exzentrischen Umlaufbahnen durchquerten diese beiden Planeten nun bei jedem Umlauf um die Sonne den Vorläufer des heutigen Edgeworth-Kuiper-Gürtels aus Planetesimalen, was den gesamten Gürtel grundlegend veränderte: Viele der dort ursprünglich vorhandenen Planetesimale wurden in das innere Sonnensystem oder aus dem Sonnensystem heraus geschleudert. Ein Teil dieser Kleinkörper bildet heute die Oortsche Wolke (benannt nach dem Astronomen Jan Hendrik Oort), die bis in eine Entfernung von etwa 100000AE von der Sonne vermutet wird, was etwa 1,6 Lichtjahren entspricht. Aus ihr stammen die langperiodischen Kometen, die stark exzentrische Bahnen um die Sonne und Umlaufzeiten von mehr als 200 Jahren aufweisen. Ein Beispiel hierfür ist C/2012 S1 (ISON), der im November letzten Jahres seine Passage durch den sonnennächsten Punkt seiner Bahn (Perihel) nicht überlebte.

stellaren Baumaterials, aus dem unser Sonnensystem entstanden ist. Zwar ist die Existenz solchen präsolaren Materials nicht neu, in Meteoriten sind präsolare Körner seit Längerem bekannt. Anhand der Stardust-Proben konnten sie jedoch zum ersten Mal in Kometenmaterial zweifelsfrei nachgewiesen werden. Das Material, aus dem diese kleinen Himmelskörper entstanden sind, wurde demnach nicht vollständig bei ihrer Entstehung prozessiert. Allerdings enthalten die Stardust-Proben wesentlich weniger interstellare Überreste als erwartet.

Ein Kometenkern aus verschiedenen Bauteilen?

Die Sonde Deep Impact besaß nach dem Besuch bei Tempel 1 noch genügend Treibstoff für ein zweites Kometenrendezvous. Ihre Flugbahn wurde deshalb so verändert, dass sie im Jahr 2010 den Kern des Kometen Hartley 2 (offizielle Bezeichnung 103P/Hartley) erreichte. Die zur Erde übertragenen Bilder zeigen einen hantelförmigen Kern, der hauptsächlich an einem Ende aktiv zu sein schien (Abb. 9). Man konnte bei Hartley 2 erstmals einzelne Aktivitätsgebiete auf der Oberfläche eines Kometenkerns mit hoher Auflösung identifizieren. Die Enden der Hantel haben eine recht raue Oberfläche, während der mittlere Bereich sehr glatt erschien, was durch Ablagerungen von Staub verursacht sein könnte.

Besonders interessant war die räumliche Verteilung einiger vom Kometenkern abgegebener Substanzen in der Umgebung des Kerns: Staub, Wassereis und Kohlendioxid schienen aus denselben Gebieten auszufließen, während Wasserdampf eine andere Verteilung zeigte. Der Kern von Hartley 2 könnte daher aus mehreren kleineren Bestandteilen, sogenannten Planetesimalen, aufgebaut sein, was in Übereinstimmung mit gängigen Theorien für die Entstehung der Planeten und der anderen Himmelskörper im Planetensystem wäre (siehe Kasten »im Detail«).

Völlig überraschend war für die Kometenforscher die Entdeckung einer Vielzahl von Eisbrocken in der unmittelbaren Nähe des Kerns von Hartley 2. Ihre Größe wird auf mindestens 10cm bis 50cm geschätzt. Einige von ihnen schienen sich wie sehr kleine Monde auf gebundenen Umlaufbahnen um den Kern zu bewegen. Sollten solche Objekte auch um andere Kometenkerne ihre Bahnen ziehen, könnten sie zukünftigen Raummissionen durchaus gefährlich werden.

Kometen und der Ursprung des Wassers auf der Erde

Bei einer anderen zurzeit oft diskutierten Frage spielen die Kometen eine zentrale Rolle: Woher stammt das Wasser auf der Erde? Modellrechnungen für die Entstehung der Erde zeigen, dass die heute in den Ozeanen vorhandene Wassermenge nicht alleine aus den Planetesimalen stammen kann, die überwiegend aus dem heißen inneren Sonnensystem kamen und die Erde bildeten (siehe Kasten »im Detail«). Es liegt deshalb die Vermutung nahe, dass Kometeneinschläge einen Großteil des irdischen Wassers in der Frühzeit auf die Erde gebracht haben könnten. Hier liefert das Häufigkeitsverhältnis von leichtem zu schwerem Wasserstoff (Deuterium) wichtige Aufschlüsse.

Untersuchungen der Kometen Halley, Hale-Bopp und Hyakutake, die höchstwahrscheinlich aus der Oortschen Wolke stammen, ergaben, dass dieses Verhältnis etwa doppelt so hoch ist wie in irdischem Wasser. Die Kometen wurden daher bislang nicht als die alleinige Quelle für das Wasser auf der Erde angesehen. Kürzlich konnte dieses Verhältnis jedoch bei zwei Kometen aus dem Edgeworth-Kuiper-Gürtel untersucht werden. Dies ergab den gleichen Wert wie in den irdischen Ozeanen. Kometen aus dem Edgeworth-Kuiper-Gürtel könnten demnach durchaus den Großteil des Wassers auf die Erde gebracht haben. Es bleibt abzuwarten, ob sich diese Ergebnisse bei der Untersuchung weiterer Kometen bestätigen werden.

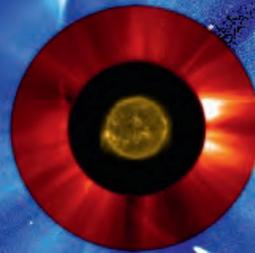
Landung auf einem Kometenkern

Alle genannten bisher unbeantworteten Fragen der Kometenforschung sollen demnächst mit der europäischen Raumsonde Rosetta untersucht werden. Rosetta ist eine der ehrgeizigsten Missionen der europäischen Weltraumbehörde ESA. Die Sonde wurde im Jahr 2004 gestartet und wird nach zehn Jahren Flugzeit im Sommer dieses Jahres den Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko erreichen. Im November wird sie sich dem Kometenkern bis auf fünf Kilometer nähern und die mitgeführte Landesonde Philae absetzen. Die Muttersonde wird den Kometen anschließend auf seiner Umlaufbahn um die Sonne begleiten und ihn gemeinsam mit Philae aus nächster Nähe untersuchen. Sehr wahrscheinlich wird Rosetta viele neue spektakuläre Ergebnisse liefern und unser Bild der Kometen revolutionieren (vgl. Artikel S. 8).

Aus und vorbei

Wie Komet ISON sein
Endspiel verlor

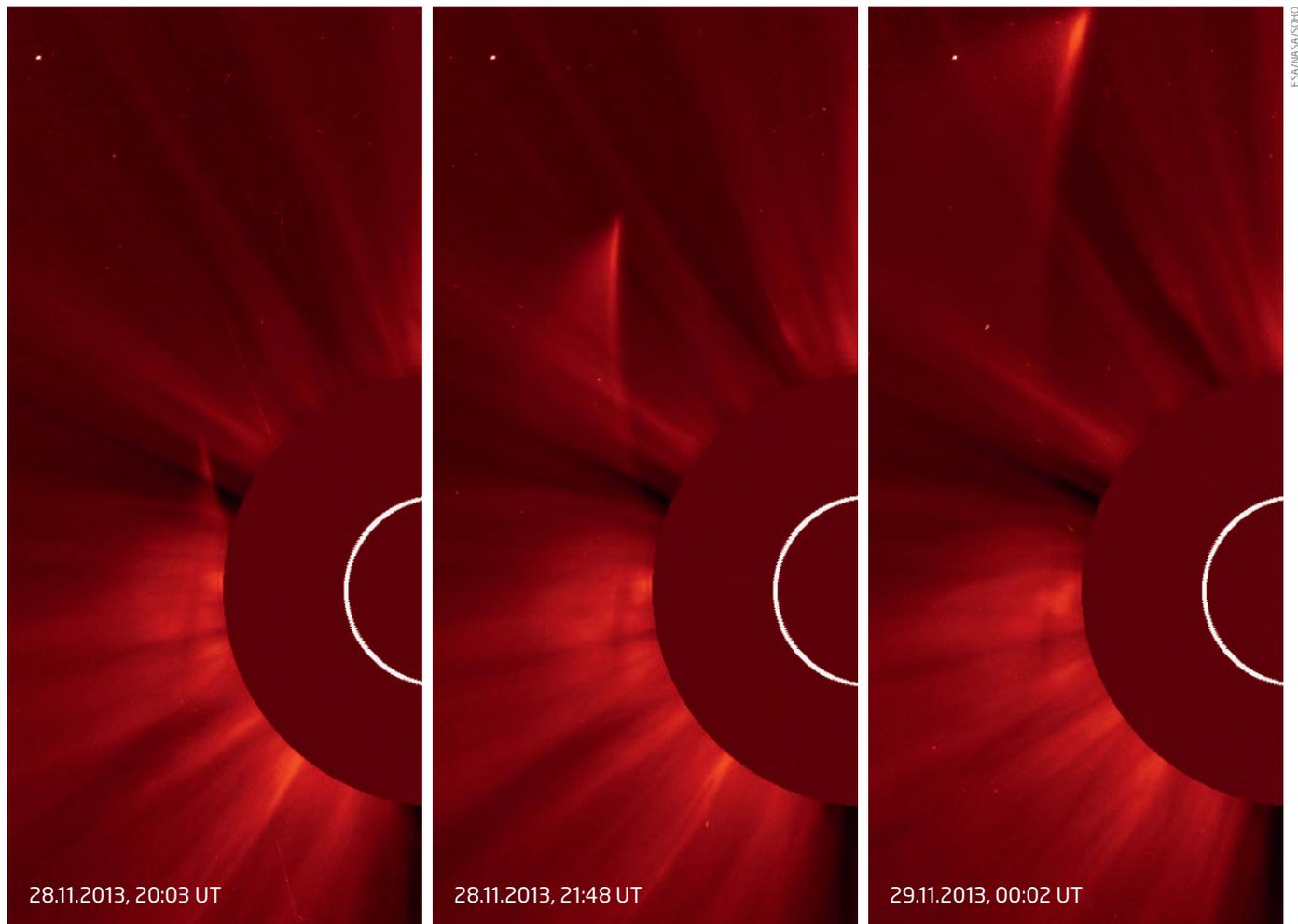
von Daniel Fischer



ESA/NASA/SOHO

▲ Abb. 1: ISONs Reise durch das Gesichtsfeld des Koronographen LASCO C3 des Satelliten SOHO: Als scheinbar intakter Komet (dessen Kern aber bereits arg geschrumpft ist und kurz vor dem endgültigen Zerfall steht) tritt er unten rechts ein und entschwindet nach dem Perihel als ein Staubschweif ohne wirklichen Kopf.

Seit der zweiten Dezemberwoche 2012 gibt es keinerlei Spuren mehr von Komet ISON, der doch genau dann mit langem Schweif am Himmel stehen sollte: Wie war das möglich, wo doch selbst der kleinere Kern des Kometen Lovejoy 2011 eine noch größere Annäherung an die Sonne überstanden – und danach ein beachtliches Himmelsschauspiel geliefert – hatte? Die Daten mehrerer Sonnenforschungssatelliten, die ISON bis zum bitteren Ende im Blick hatten, geben erste Antworten.



ESA/NASA/SOHO

▲ Abb. 2: ISON nach dem Perihel auf Bildern des Koronographen LASCO C2 des Satelliten SOHO: Eine staubige Struktur ist durchgekommen, aber einen Kern gibt es darin nicht mehr. Dass sie zunächst wieder heller zu werden scheint, ist ein Effekt des 2. Keplerschen Gesetzes, das den Staub in wachsendem Perihelabstand näher zusammenrücken lässt.

Es war gegen Mittag des 28. November 2012, rund sieben Stunden bevor C/2012 S1 (ISON) sein Perihel, den sonnennächsten Punkt seiner Parabelbahn, erreichen sollte: Bis dahin hatte er sich scheinbar noch wie ein gesunder Komet verhalten, aber jetzt war etwas anders geworden.

ISON gibt Rätsel auf

Beobachter auf der Erde hatten ISON schon seit mehreren Tagen aus den Augen verloren: Mit zunehmender Sonnennähe hatte sich der Komet mit 3. bis 4. Größe in die helle Morgendämmerung verabschiedet, und auch wenn seine Helligkeit langsam weiter stieg, wurde er vom Boden aus doch nie wieder eindeutig gesichtet. Allein drei Satelliten mit Kameras, die eigentlich die Sonnenkorona und den interplanetaren Raum überwachen, hatten ISON seither noch im Blick: der betagte SOHO aus einer Position zwischen Sonne und Erde im Lagrangeunkt L1 und die beiden STEREOs auf der Erdbahn, aber stark versetzt.

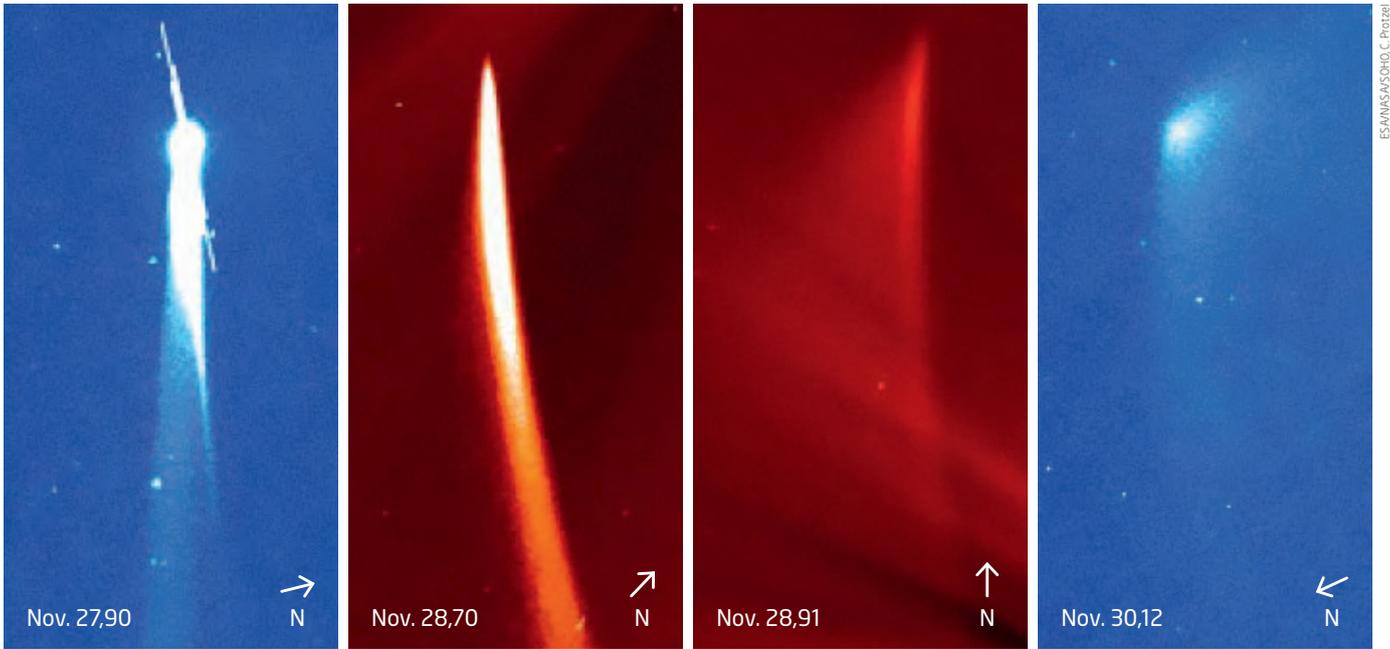
Noch am 27. November schien ISON alles zu besitzen, was ein intakter Komet braucht: einen Kopf – Koma genannt – aus Gas und Staub, mit einer zentralen Verdichtung, wo sein aktiver Kern ständig Nachschub liefert, und einen Schweif. Doch die zentrale Kondensation war jetzt nicht mehr zu sehen, und die Helligkeit ISONs, die mit $-2^m,5$ durchaus beachtlich geworden war, nahm nun auch wieder ab [1]. Noch bedenklicher: Die Koma zog sich in den folgenden Stunden immer mehr in die Länge – das charakteristische Bild eines Kometen, dessen Kern de facto verschwunden war.

Für die Satellitenbeobachter war dies nichts Neues: Schon oft hatten sie Kometen dieser Gestalt auf die Sonne zustürzen sehen, Bruchstücke des vor Jahrhunderten zerfallenen Kreutz-Kometen, die selbst nur noch wenige Dutzend Meter groß waren. Doch nie hatte einer dieser Zwerge die Sonnenpassage überlebt. Wie aber konnte ISON in dieselbe Situation geraten sein, wo man ihm doch zu Jahresbeginn noch einen Kern von mehreren Kilometern Durchmesser zugeschrieben hatte?

Antworten einer Marssonde

In der Regel gibt es nur zwei direkte Methoden, um den Durchmesser eines Kometenkerns zuverlässig zu bestimmen: mit Kameras von Raumsonden aus nächster Nähe – bisher fünfmal gelungen – oder wenn der Komet bereits in solcher Sonnenferne beobachtet werden konnte, dass er sich noch gar keine Koma zugelegt hatte. Doch als ISON im September 2012 entdeckt worden war, verhüllte sich der Kern bereits in der Gas- und Staubhülle, und seine Eigenschaften konnten nur noch erraten werden. Manche tippten auf bis zu fünf Kilometer, doch lange kam die zuverlässigste Obergrenze seines Durchmessers – 4 km – vom Hubble Space Telescope, das im April 2013 keinerlei spitzes Helligkeitsmaximum in der Koma gefunden hatte, das man direkt vom Kern reflektiertem Sonnenlicht zuschreiben konnte.

Erst am Tag vor dem Perihel war plötzlich eine neue, viel schärfere Obergrenze von 1,2 km publik geworden: Sie basierte auf Aufnahmen des Mars Reconnaissance Orbiter



▲ Abb. 3: Die dramatischen Veränderungen ISONs in den Stunden um das Perihel, gesehen von den Koronographen LASCO C3 (Bilder 1 und 4) und LASCO C2 des Satelliten SOHO; der Maßstab ist variabel. Das Perihel fand bei Nov. 28,78 statt.

von Ende September/Anfang Oktober, als ISON dem Mars recht nahe gekommen war. Seine Kamera HiRISE hatte die zentrale Verdichtung im Inneren der Koma mit 13km/Pixel schärfer als jedes andere Instrument sehen können, und die Auswertung der – als solche unattraktiven – Bilder schloss nun einen Kern von mehreren Kilometern Durchmesser klar aus.

Im Dezember war die Auswertung noch präziser geworden: 600m gelten jetzt als wahrscheinlichste Obergrenze, bei angenommener typischer Albedo (Rückstrahlvermögen) des Kernmaterials um 3% und typischer Staubverteilung in unmittelbarer Kernnähe. Selbst ein Komet dieser Größe hätte aber die nahe Sonnenpassage im Prinzip überleben können: Lovejoy hatte 2011 nur etwa 300m Durchmesser und sogar noch größere Hitze überstanden, auch wenn er danach auf 150m bis 200m geschrumpft war.

Ein Komet der anderen Art

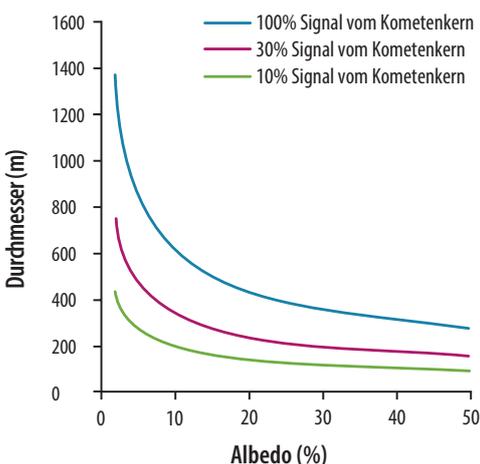
Aber Lovejoy war ein größeres Bruchstück des Kreutz-Kometen gewesen: kein frisch vom äußersten Rand des Sonnensystems eingetroffener Besucher, wie es ISON war. Noch nie war ein Komet beobachtet worden, der aus der Oortschen Wolke kam und dann so nahe an die Sonne heranpreschte, bis auf 1,2 Mio. km an ihre Photosphäre. Diese einmalige Kombination von Eigenschaften hatte den überdies schon früh entdeckten C/2012 S1 wissenschaftlich so interessant gemacht, dass man ihm eine der größten Beobachtungskampagnen der Kometenforschung überhaupt widmete – und zugleich war die Unsicherheit noch nie so groß gewesen, wie sich der Komet bei der Annäherung an die Sonne verhalten würde. Schon die frühe Lichtkurve verblüffte, mit einem scheinbaren Stillstand über Monate hinweg. Dieser allerdings scheint durch einen lang anhaltenden Ausbruch von besonders flüchtigem Kohlenmonoxid vorgetäuscht worden zu sein, der im Sommer 2012 endete [2].

Überhaupt lässt sich die ziemlich ungleichmäßig ansteigende Lichtkurve ISONs durch immer wieder neu einsetzende Aktivität verstehen, wenn ein weiteres Molekül bei

steigender Temperatur zu sublimieren begann [3]: Dem Kohlenmonoxid folgte wohl Kohlendioxid, das den Sommer 2012 hindurch ISONs Aktivität antrieb, bis schließlich Wasserdampf die Hauptrolle übernahm. Im Mittel nahm die Helligkeit ISONs jedenfalls, nachdem er sich im August 2013 aus dem Glanz der Sonne gelöst hatte, ungefähr wie erwartet zu: von etwa 13. auf schließlich 8. Größe Mitte November. Die ganze Zeit veränderte sich das Aussehen ISONs praktisch nicht: eine grünliche Koma – vor allem Emission des Kohlenstoffmoleküls – und ein strukturloser Staubschweif. Nennenswerte Staubstrukturen innerhalb der Koma, aus denen man zum Beispiel etwas über das Rotationsverhalten des Kerns hätte lernen können, ließen sich nicht blicken. Und ebenso wenig irgendwelche Indizien für einen früh beginnenden Zerfall des Kerns.

Die letzten zwei Wochen ...

Plötzliche Dramatik erhielt die Entwicklung ISONs Mitte November 2013, als die visuelle Gesamthelligkeit nahezu schlagartig von 7^m–8^m auf 5^m–6^m sprang und die Kondensation der Koma deutlich zunahm: Ein leicht zu beobachtendes Objekt wurde der Komet dadurch zwar nicht, da er vor Beginn der Morgendämmerung nur noch knapp über dem Horizont stand, aber es geschah nun zweifellos etwas Spannendes mit dem Kern. Neben der visuellen Helligkeit war auch die Gasfreisetzung nach oben geschneilt: Das konnte bedeuten, dass die Sonne jetzt neue



◀ Abb. 4: Wie man den Durchmesser von ISONs Kern aus Bildern des Mars Reconnaissance Orbiter abschätzen kann: Für unterschiedliche angenommene Albedo (als typisch gilt 3) und Anteile von Komalicht an der gemessenen Helligkeit des zentralen Peaks folgen 600m oder weniger.

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

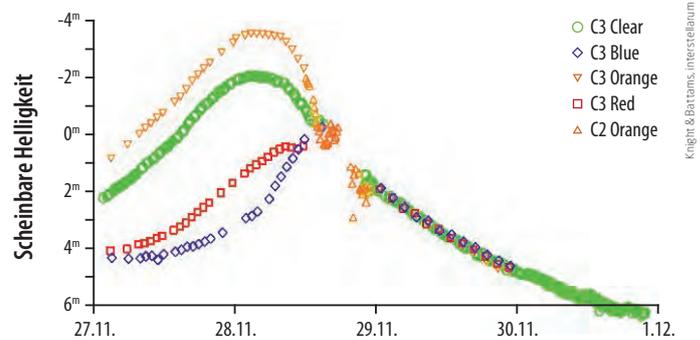
Reservoirs gefrorener Gase erreicht hatte (womit Himmelsmechaniker durchaus gerechnet hatten) – aber auch, dass der Kern nun doch zu fragmentieren begann und deswegen mehr Gas und Staub in den Raum entließ. Aber eindeutige direkte Anzeichen dafür gab es weiterhin nicht, auch nach einem weiteren Helligkeitssprung einige Tage später. Im November hatte ISON nun auch einen immer beeindruckenderen Plasmawolke entwickelt, der bald den bekannten Staubschweif dominierte.

Als ISON – der für visuelle Beobachter wie erwartet nie nennenswert über ein Fernglasobjekt hinausgekommen war – in der Morgendämmerung verschwand, tauchte er gleichzeitig im Heliospheric Imager I des Satelliten STEREO A auf, der ihn die nächsten Tage verfolgen konnte: Eigentlich beobachtet diese empfindliche Kamera, wie sich Koronale Massenauswürfe der Sonne Richtung Erde bewegen, nun konnte sie den Wellen von ISONs Plasmawolke im Sonnenwind zuschauen. Der weitere Helligkeitsanstieg – der Komet war irdischen Beobachtern mit etwa 3^m 5 entglitten – ließ allerdings zu wünschen übrig. So war die erst so steil angestiegene Gasproduktion wieder eingebrochen: Hatte sich der Kern bereits weitgehend aufgelöst, wie die Beobachter vermuteten? Äußerlich anmerken ließ sich der Komet weiterhin nichts, außer dass sich die Rate der Helligkeitsentwicklung der Koma in Abhängigkeit vom Sonnenabstand nun immer häufiger änderte.

... und die letzten Stunden

Bis zum Vormittag des 28. November – des Periheltages – stieg die Helligkeit ISONs mal langsam, mal schnell, aber dann ging es wieder abwärts: ein völlig anderes Verhalten, als es 2011 Lovejoy gezeigt hatte, der regelrecht aufgeblüht war. Als schwache längliche Struktur ohne Komakondensation erreichte ISON den sonnennächsten Bahnpunkt – und setzte seine Parabelreise fort: allerdings deutlich schwächer als auf dem Weg nach innen und ohne eine wirkliche Koma. Ein aufgefächerter Staubschweif war durchaus noch zu erkennen, aber – so zeigte rasch seine mathematische Modellierung – war all dieser Staub bereits vor dem Perihel freigesetzt worden: Es gab offensichtlich keine aktive Quelle mehr. Noch bis zum 6. Dezember konnte der immer schwächer werdende kopflose Schweifächer – oft »ISONs Geist« genannt – von STEREO A verfolgt werden, dann verließ er deren Gesichtsfeld. Vom Boden aus wurden weder die

► Abb. 5: ISONs Lichtkurve für verschiedene Kameras und Filter auf dem SOHO-Satelliten: Schon deutlich vor dem Perihel wurde das Helligkeitsmaximum erreicht, danach ging es nur noch bergab.



Knight & Battams, interstellarum

se Staubschweif noch irgendwelche Kernsplitter darin je wiedergefunden, selbst mit dem Hubble Space Telescope nicht.

Was ISON in den kritischen Stunden zu welchem Zeitpunkt widerfuhr, ist erst grob verstanden, da die räumliche Auflösung der Sonnensatellitenkameras nur gering ist: Schließlich sind sie für große diffuse Plasmawolken optimiert. Bei seinem Helligkeitsmaximum dürfte der Kern – abgeschätzt aus Beobachtungen an Kreutz-Kometen – noch einen Durchmesser von etwa 100m gehabt haben, bevor er schnell in un beobachtbar kleine Brocken zerfiel, die umso rasanter zerstört wurden. Andererseits muss der Kern einige Tage vorher noch um ein Mehrfaches größer gewesen sein. Nur so lässt sich die beobachtete starke Gasfreisetzung erklären. Mithin hat (spätestens) einige Tage vor dem Perihel ein fortschreitender Zerfall eingesetzt, der zum Totalverlust des Kerns noch vor dem Perihel führte, das er gerade einmal ein paar Dutzend Meter groß erreichte: Das war zugleich das Ende der Hoffnungen auf eine spektakuläre Schweifentwicklung in den Tagen danach.

Warum die Show ausfiel

Das Idealszenario für ISON wäre gewesen, dass der Kern Lovejoy-gleich in einem Stück durch die größte Sonnenhitze geschossen und erst in einem gewissen Sonnenabstand zerplatzt wäre: So widerfuhr es Lovejoy knapp zwei Tage nach seinem Perihel, der daraufhin einen spektakulären (aber auch kurzlebigen) Staubschweif entwickelte. Wichtig war, dass der meiste Staub im Inneren des intakten Kerns vor der größten Hitze geschützt geblieben war.

Doch dem Staub ISONs war dies nicht vergönnt: Da es so gut wie keinen festen Kern mehr gab, war er der Sonne schutzlos ausgeliefert und wurde größtenteils verdampft. Die matte Wolke, die übrig blieb, war so lichtschwach, dass sie trotz aller Anstrengungen nicht mehr am Nachthimmel zu finden war, nicht einmal um den 16. Januar 2014 herum,

als die Erde durch ISONs Bahnebene trat und die Flächenhelligkeit maximal gewesen sein müsste.

Die große – und wissenschaftlich bedeutsame – Frage ist nun, warum sich ISON und Lovejoy so völlig unterschiedlich verhielten. Etwas scheint an Kometen aus der Oortischen Wolke fundamental anders zu sein als bei den Kreutz-Kometen, so dass der strukturelle Zusammenhalt ihrer Kerne – jedenfalls in extremer Sonnennähe – deutlich geringer ist. Das konnte in dieser Deutlichkeit aber vorher niemand wissen, und insofern war die Erwartung einer Art zweiter Lovejoy-Erscheinung nach dem Perihel (und damit auch das öffentliche Aufsehen um ISON) nicht ungerechtfertigt.

Das vollständige Verschwinden des Kometen allerdings ist schon ernüchternd: Selbst der – zunächst ebenfalls von großen Erwartungen begleitete – Komet Elenin war nach seinem bedauerlichen Zerfall 2011 schließlich doch noch als matte Staubschweif wieder gefunden worden. Die Akte ISON dagegen hat sich abrupt geschlossen.

[1] Knight, M., Battams, K.: Preliminary Analysis of SOHO/STEREO Observations of Sun-grazing Comet ISON (C/2012 S1) Around Perihelion, <http://arxiv.org/abs/1401.7028>
 [2] Meech, K., Yang, B., Kleyana, J. et al: Outgassing Behavior of C/2012 S1 (ISON) From September 2011 to June 2013, <http://arxiv.org/abs/1309.2688>
 [3] Sekanina, Z.: Brightness and Orbital Motion Peculiarities of Comet C/2012 S1 (ISON): Comparison with Two Very Different Comets, <http://arxiv.org/abs/1310.1980>

▶ **SURFTIPPS**

- ISON-Beobachtungskampagne
- interstellarum-Sternstunde zu ISONs Ende

🔗 **Kurzlink:** oc1m.de/03bt

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

Unheimliche Begegnung mit Mars

Komet C/2013 A1 (Siding Spring) am Roten Planeten

von Daniel Fischer

Just während die Mission Rosettas in ihre heiße Phase eintritt und einen knappen Monat vor der geplanten Kometenlandung Philaas steht dem Sonnensystem eine andere Premiere bevor: Zum ersten Mal in der Geschichte der beobachtenden Astronomie wird ein Komet einem terrestrischen Planeten so nahe kommen, dass letzterer einige Stunden lang in der Koma stehen wird. Die Akteure sind der Planet Mars und der Komet C/2013 A1 (Siding Spring).

Der Komet ist die letzte Entdeckung von Rekord-Kometenentdecker Robert McNaught (vgl. Interview S. 72): Am 19. Oktober wird sich der Kometenkern der Planetenoberfläche bis auf 138000km nähern, und aller Voraussicht nach wird die Koma dann bereits mindestens denselben Durchmesser haben. Das macht die außergewöhnliche Begegnung zu einem zweiseitigen Schwert: Zum einen wird es möglicherweise zu einer interessanten Wechselwirkung von Kometengas und -staub mit der dünnen Marsatmosphäre kommen, und mehrere Marsorbiter werden geradezu einen Logenplatz für die Beobachtung, auch des Kometen selbst natürlich, haben – aber zugleich könnten sie durch den Staubanteil der Koma gravierenden Schaden nehmen.

Marssonden in Gefahr

Gänzlich ungefährdet sind nur die beiden Rover auf der Oberfläche, Curiosity und Opportunity: Für sie wird der Kometenstaub höchstens zu einem Meteorsturm (leider überwiegend am Tag) führen, während sie den Kometen selbst – der für Beobachter auf der Erde mit nur etwa 8. Größe schwach neben dem Planeten steht – bis zu Venus-hell am Himmel sehen sollten. Aber anders sieht das für die derzeit drei – und zum Zeitpunkt der Begegnung wohl fünf – aktiven Marsorbiter aus: Für sie müssen kritische Abwägungen getroffen werden, zwischen intensiver Beobachtung von Komet und Mars während der Annäherung und dem Schutz der eige-

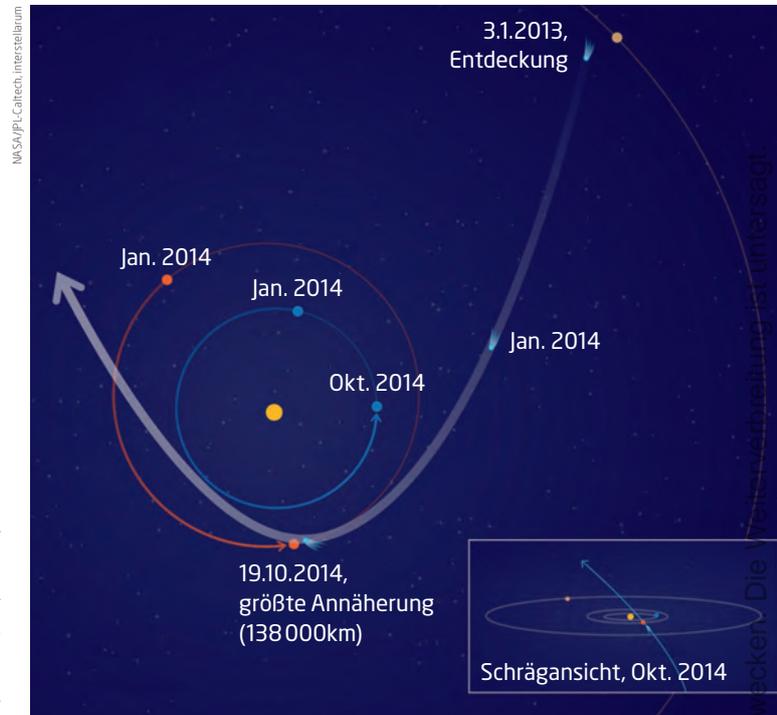
nen Sicherheit. Der Anstieg der Aktivität von Siding Spring während seines sinkenden Sonnenabstands wird in diesem Frühjahr intensiv von der Erde und mit Raumsonden überwacht, und der wieder eingeschaltete Infrarotsatellit WISE hat im Januar prompt einen schon recht aktiven und v.a. staubigen Kometen C/2013 A1 vorgefunden. Bis Mai wird eine klare Aussage benötigt: Wird es genügen, die Orbiter lediglich so im Raum zu drehen, dass der Staub keine empfindlichen Komponenten trifft – oder müssen ihre Bahnen so geändert werden, dass sie bei der Ankunft von Siding Spring auf der anderen Seite des Planeten geschützt sind?

Problem oder Chance?

Interplanetare Raumsonden sind durchaus so konstruiert, dass ihnen gelegentliche Staubreffer nichts anhaben – aber die Bahn des Kometen ist retrograd, d.h. der Staub rast mit 56km/s auf den Mars und seine Orbiter zu: Das stellt eine erhebliche Steigerung des Risikos dar, zu dem weniger direkte Durchschüsse als vielmehr das Entstehen von Plasmawolken beim Impact mit Folgen für die Elektronik beitragen. Sollten sich die Betreiber von Mars Express, Mars Reconnaissance

Orbiter und Mars Odyssey entschließen, ihre Orbiter lieber in Sicherheit zu bringen, müssten die entsprechenden Manöver schon viele Monate im Voraus eingeleitet werden, denn auch die solare Stromversorgung und Funkverbindung müssen dabei gewahrt bleiben. Deswegen stehen die Entscheidungen schon jetzt an, und auch für die erst im September eintreffenden Orbiter MAVEN und MOM (aus Indien) muss vorgesorgt werden.

Die interessantesten Beobachtungen am 19. Oktober dürfte – so erlaubt – wohl der Mars Reconnaissance Orbiter machen können, der letztes Jahr bereits am 80-mal weiter entfernten ISON »geübt« hat: Diesmal sollte seine Kamera HiRISE den Kometenkern räumlich auflösen können, mit Dutzenden von Pixeln im Durchmesser. So etwas gab es – außer bei den Kometenbesuchen durch Raumsonden – noch nie. Der spürbarste Effekt der Kometenbegegnung für den Mars selbst könnte eine Erwärmung und Ausdehnung seiner ganzen Atmosphäre sein, wenn der Kometenstaub wie ein marseigener Staubsturm wirkt.



▲ Die Bahn des Kometen Siding Spring seit seiner Entdeckung. Am 19.10.2014 führt sie dicht am Mars vorbei; das Perihel wird sechs Tage später erreicht.

Das verhinderte Kometenjahr

Die Schweifsterne des Jahres 2013

von Burkhard Leitner (Text)
und Gerald Rhemann/Waldemar Skorupa (Fotos)

▲ Abb. 1: Er sollte der Star des Jahres werden, überlebte jedoch sein Perihel nicht: C/2012 S1 (ISON). Vor seinem Ende war der Komet in der Morgendämmerung präsent. *Waldemar Skorupa*

Das Jahr 2013 wurde zuweilen als »Jahr der Kometen« bezeichnet, immerhin gab es Hoffnungen auf zwei Große Kometen. Beide blieben jedoch hinter den Erwartungen zurück. Zwei weniger hell prognostizierte Schweifsterne überraschten hingegen positiv und machten das Jahr zu einem außergewöhnlich kometenreichen, was auch in den zahlreich hochgeladenen Bildern der Online-Galerie auf www.kometenaktuell.de zum Ausdruck kam. Dieser Bericht zeigt die schönsten dieser Schweifsterne.



▲ Abb. 2: Auftakt zu einem vielversprechenden Kometenjahr: C/2012 K5 (LINEAR) am 4.1.2013, CCD-Aufnahme, 21:43 MEZ, 8"-Astrograph bei 590mm, FLI PL 16803, 27min (je LRGB). *Gerald Rhemann*



▲ Abb. 3: C/2011 L4 (PANSTARRS) weckte viele Erwartungen. Die Aufnahmen zeigen den Kometen am 8.4.2013 (a) und am 1.6.2013 mit Gegenschweif (b). Oben: CCD-Aufnahme, 4:40 MESZ, 4"-Refraktor bei 540mm, FLI PL 16803, 5min (L), 80s (je RGB). Unten: CCD-Aufnahme, 23:00 MESZ, 8"-Astrograph bei 590mm, FLI PL 16803, 6min (L), 5min (je RGB). *Gerald Rhemann*

Nicht weniger als vier Kometen konnten 2013 mit bloßem Auge gesehen werden. Aber nicht nur für Kometenbeobachter, auch für Kometenentdecker war es ein besonderes Jahr: 14 Entdeckungen gelangten Amateuren, ein Rekord und ein kräftiges Lebenszeichen nach Tiefst-

werten von nur einer Entdeckung pro Jahr zu Beginn dieses Jahrzehntes.

Das Material für diesen bebilderten Rückblick stammt diesmal von Gerald Rhemann und Waldemar Skorupa, zwei der profiliertesten Kometenfotografen überhaupt. Rhemann fotografiert seit 1989 Kometen, vorwiegend

mit 8"- bis 12"-Astrographen. Seine bevorzugten Beobachtungsstandorte liegen in den niederösterreichischen Voralpen. Um Kometen am Südhimmel abzubilden, kann er einen 12"-Astrographen auf der Farm Tivoli in Namibia per Internet ansteuern. Skorupa verwendet einen 8"-Astrographen und fotografiert

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Die Weiterverbreitung ist untersagt.



▲ Abb. 4: C/2011 L4 (PANSTARRS) wurde in der Dämmerung hell und war mit bloßem Auge sichtbar. 200mm-Objektiv, 10×1s. *Waldemar Skorupa*



▲ Abb. 5: C/2012 F6 (Lemmon) überraschte im Frühjahr positiv. 21.4.2013, CCD-Aufnahme, 5:00 MESZ, 12"-Astrograph bei 1150mm, FLI ML 8300, 6min (je LRGB). Die Aufnahme wurde ferngesteuert in Namibia erstellt. *Gerald Rhemann*



▼ Abb. 6: Der periodische Komet 2P/Encke kam im Herbst 2013 wieder einmal in Reichweite. Links: 2.10.2013, CCD-Aufnahme, 4:38 MESZ, 12"-Astrograph bei 1150mm, FLI ML 8300, 5min (L), 5min (je RGB). Rechts: 8.11.2013, CCD-Aufnahme, 5:05 MEZ, 8"-Astrograph bei 720mm, FLI PL 16070, 6min (L), 4min (je RGB). *Gerald Rhemann*

von wechselnden Standorten in Deutschland und Frankreich.

LINEAR und PANSTARRS

Nach seiner Erdnähe zu Silvester stand zu Jahresbeginn C/2012 K5 (LINEAR) zirkumpolar am Nachthimmel. Mit 8^m0 erreichte er Anfang

Januar seine maximale Helligkeit und hatte einen breiten diffusen Staubschweif gebildet. Sein Perihel hatte er schon Ende November 2012 in 1,14AE Entfernung durchlaufen. Der Komet wurde rasch schwächer und Ende Januar endete die Beobachtungszeit für C/2012 K5 bereits.

Im März und April stand C/2011 L4 (PANSTARRS) im Mittelpunkt des Interesses. Vom

Südhimmel kommend, stand er zum Perihel am 10. März erstmals knapp über dem abendlichen Westhorizont. Zu diesem Zeitpunkt erreichte der Komet auch sein Helligkeitsmaximum mit etwa 1^m0. Ab Mitte März gab es zahlreiche Beobachtungen des tief stehenden Kometen auch mit bloßem Auge. Eindrucksvoll war er aber am Dämmerungshimmel erst



▲ Abb. 7: **Gewaltige Erwartungen ruhten auf C/2012 S1 (ISON)**, dem schließlich gefallenen Jahrhundertkometen. Zu Anfang sah er noch vielversprechend aus. Links: 5.9.2013, CCD-Aufnahme, 5:09 MESZ, 8"-Astrograph bei 580mm, FLI 16803. *Waldemar Skorupa*. Rechts: 4.10.2013, CCD-Aufnahme, 4:55 MESZ, 12"-Astrograph bei 1150mm, FLI ML 8300, 9min (L), 10min (je RGB). *Gerald Rhemann*



▲ Abb. 8: **C/2012 S1 (ISON)** zeigte bereits vor dem Perihel ein tollen Schweif. Links: 29.10.2013, CCD-Aufnahme, 3:15 MEZ, 12"-Astrograph bei 1150mm, FLI ML 8300, 15min (je LRGB). Rechts: 17.11.2013, CCD-Aufnahme, 5:15 MEZ, 8"-Astrograph bei 720mm, FLI PL 16070, 8min (L), 4min (je RGB). *Gerald Rhemann*

im Fernglas. Die Schweiflänge erreichte Mitte März maximal 3° Länge.

Stetig schwächer werdend, stieg C/2011 L4 ab der Monatsmitte langsam höher, zum Monatsende war der inzwischen noch 4^m0 helle Schweifstern dann zirkumpolar. Er blieb bis Mitte April freisichtig, der sehr prominente Staubschweif fächerte sich in diesem Monat

bis auf einen Winkel 170° auf. Bis Ende April war die Helligkeit auf 8^m0 zurückgegangen, aber der Komet bot den Beobachtern in den folgenden Wochen noch etwas ganz Besonderes: einen Gegenschweif, der den von der Sonne wegweisenden Schweif an Länge weit übertraf. Aus dem erhofften Großen Kometen war zwar nichts geworden, dennoch lie-

ferte PANSTARRS ein beeindruckendes und sehr abwechslungsreiches Schauspiel.

Positive Überraschung

Der erste Überraschungskomet des Jahres war **C/2012 F6 (Lemmon)**, der nach seinem Maximum von 4^m5 am Südhimmel ab Mitte Mai



▲ Abb. 9: Bei C/2012 S1 (ISON) konnten am 16.11.2013 feine Schweifstrukturen nachgewiesen werden. CCD-Aufnahme, 8"-Astrograph bei 580mm, FLI 16803. Oben links: CCD-Aufnahme mit Larson-Sekanina-Filter, 8"-Astrograph bei 580mm, FLI 16803. *Waldemar Skorupa*

auch von Mitteleuropa aus zu sehen war. Zunächst war nur eine Helligkeit von etwa 9^m erwartet worden, doch der Komet entwickelte sehr starke Aktivität und einen langen Plasmaschweif. Mit 7^m war er für die Beobachter in Mitteleuropa noch ein schönes Fernglas-Objekt, stand allerdings am Morgenhimmel. Im Juni sank die Helligkeit auf 8^m , im Juli auf

9^m – somit blieb C/2012 F6 den Sommer über noch teleskopisch beobachtbar.

Im Herbst kam es zu einer günstigen Wiederkehr des kurzperiodischen Kometen **2P/Encke**. Im Oktober stand er mit einer Helligkeit von rund 8^m und einem Koma-Durchmesser von bis zu 10' am Morgenhimmel. Stärker kondensiert, etwa 7^m hell und mit einem

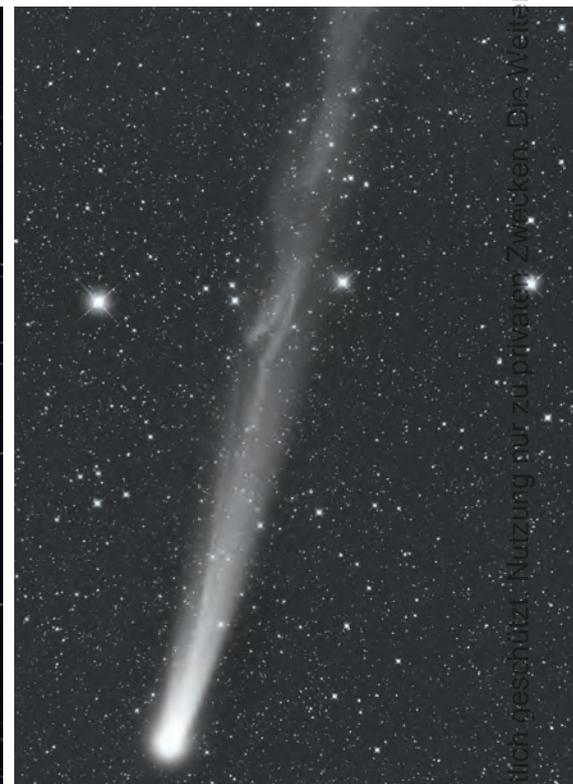
mehrere Grad langen Plasmaschweif zeigte er sich kurz vor dem Perihel im November.

Große Enttäuschung

Im Oktober kam der lang erwartete **C/2012 S1 (ISON)** ebenfalls am Morgenhimmel mit etwa 10^m in Sicht. Die Helligkeit stieg zunächst nur



▲ Abb. 10: Der schöne Auftritt von C/2013 R1 (Lovejoy) war nur ein schwacher Trost für ISONs Ableben. Links: 3.12.2013, CCD-Aufnahme, 4:05 MEZ, 200mm-Teleobjektiv bei f/2,5, FLI PL 16070, 6min (L), 5min (je RGB). Schweiflänge ca. 8°. Rechts: 12.12.2013, CCD-Aufnahme, 5:14 MEZ, 8"-Astrograph bei 560mm, FLI PL 16070, 5min (je LRGB). *Gerald Rhemann*



▲ Abb. 11: Einen markanten Schweifabriss zeigte C/2013 R1 (Lovejoy) am 8. und 9.12.2013. Links: 8.12.2013, CCD-Aufnahme, 8"-Astrograph bei 580mm, FLI 16803. Rechts: 9.12.2013, CCD-Mosaik, 8"-Astrograph bei 580mm, FLI 16803. *Waldemar Skorupa*

langsam auf rund 9^m0 Anfang November. Zur Monatsmitte sprang die Helligkeit schlagartig auf 5^m0 – leider das erste Anzeichen des folgenden Zerbrechens des Kometen in seiner Sonnennähe von nur 0,012AE. Am Höhepunkt von ISONs enttäuschendem Erscheinen, zwischen dem 15. und 20. November, zeigte er auf Bildern einen 5° langen, reich strukturierten

Schweif mit ausgeprägten Streamern. Um den 22. November verschwand der Komet dann in der Morgendämmerung und zerfiel eine Woche später beim Umrunden der Sonne. Zu den erhofften Beobachtungen eines hellen Kometen im Dezember kam es damit nicht mehr.

Gegen Jahresende überraschte dann C/2013 R1 (Lovejoy) mit einer Maximal-

helligkeit von 5^m0, die ihn zum vierten Kometen für das bloße Auge in diesem Jahr machte. Zunächst ebenfalls ein Morgenkomet, war Lovejoy in der ersten Dezemberhälfte auch abends beobachtbar. Er zeigte einen bis zu 10° langen Schweif, der unter guten Bedingungen auch ein Stück weit mit freiem Auge zu sehen war.



▲ Abb. 1a: Die wichtigsten hellen Kometen und ihre Erforschung aus dem Weltraum in den letzten 35 Jahren.

Von IRAS bis ISON

Ein Rückblick auf die Kometen der letzten 35 Jahre

von Burkhard Leitner

Neben den drei häufig genannten und beschriebenen Großen Kometen Hale-Bopp, Hyakutake und McNaught gab es in den letzten drei Jahrzehnten noch eine Reihe von weiteren interessanten Kometen. Einige davon sind bereits nahezu vergessen, andere werden mit ihren Besonderheiten noch lange in den Geschichtsbüchern der Astronomie bleiben.

Der Zeitraum von 1980 bis 2010 war auch die Epoche, in der Kometen erstmals durch Raumsonden erforscht werden konnten, wobei wesentliche Erkenntnisse über Aufbau, Zusammensetzung und Herkunft dieser immer wieder überraschenden Himmelskörper gewonnen werden konnten. In der Kometenfotografie kam es zum Umbruch – digitale Kameras lösten ab Mitte der 1990er-Jahre nach und nach die Filmfotografie ab.

Die Kometen der 1980er-Jahre

Das Jahrzehnt begann mit einer Kometenflaute, einzig C/1980 Y1 (Bradfield) konnte im Januar 1981 mit einer Helligkeit von 4^m0 und einem 5° Schweif am Morgenhimmel

gesehen werden. Im Jahr 1981 wurden nur fünf neue Kometen entdeckt, keiner davon wurde für Amateure interessant. 1982 waren es gar nur vier Schweifsterne, einer davon sollte aber der zweite hellere Komet der Dekade werden: Entdeckt vom Neuseeländer Rodney Austin, konnte C/1982 M1 (Austin) Mitte August 1982 mit einer Helligkeit von 4^m5 auch kurz mit bloßem Auge am Nordhimmel gesehen werden.

Einen ganz besonderen Kometen brachte das folgende Jahr: Entdeckt vom Infrarotsatelliten IRAS sowie durch zwei Amateure, erhielt das Objekt den sperrigen Namen C/1983 H1 (IRAS-Araki-Alcock). Dieser Komet kam der Erde so nahe wie kein Komet mehr seit 1770. Es sind überhaupt nur drei Kometen bekannt, die der Erde näher kamen.

Der Vorbeiflug in nur 0,031AE oder 4,7 Mio. km Distanz bedeutete eine extreme Winkelgeschwindigkeit am Himmel – IRAS-Araki-Alcock bewegte sich in nur drei Tagen über den gesamten Himmel, allein in der Nacht der Erdnähe vom 10. auf den 11. Mai schaffte er etwa 40° . Damit blieb er auch nur wenige Tage sichtbar, schon am 13. Mai verschwand er für immer in Richtung Süden. Neben der raschen Bewegung beeindruckte auch die scheinbare Größe, der diffuse, schweiflose Komet maß bis zu 2° im Durchmesser. Die Helligkeit erreichte ein spitzes Maximum von 2^m5 und ging nach der Erdnähe rasch zurück.

Die beiden weiteren bemerkenswerten Kometen der 1980er-Jahre waren periodischer Natur: Zunächst kam 1985 21P/Giacobini-Zinner in eine günstige Wiederkehr und er-



C/1990 K1 (Levy)

Norbert Mrozek



C/1996 B2 (Hyakutake)

Gerald Rhemann

1990	1991	1992	1993	S-L9 Impact 1994	1995	1996
------	------	------	------	---------------------	------	------

reichte ein Maximum von 7^m 5. Das Besondere an diesem Schweifstern war allerdings der erstmalige Besuch einer Raumsonde. Der International Comet Explorer (ICE) flog im September durch den Schweif von Giacobini-Zinner und übermittelte wertvolle Daten zur Erde.

Der meisterwartete Komet des Jahrzehnts folgte wenige Monate später – **1P/Halley** setzte völlig neue Maßstäbe. Eine Armada an Raumsonden und praktisch alle Observatorien der Welt beobachteten den Periheldurchlauf 1985/86 und machten ihn zum am besten untersuchten und meistfotografierten Kometen bisher. Für die Beobachter auf der Nordhalbkugel brachte die Bahngeometrie aber eher ungünstige Bedingungen. Zur Erdnähe und maximalen Helligkeit im April 1986 stand Halley leider am Südhimmel. Von November 1985 bis Mitte Januar 1986 konnte die Helligkeitssteigerung Halleys von 8^m 0 auf 4^m 5 beobachtet werden, dann verschwand er in Sonnennähe. Ende März gab es noch ein kurzes Sichtbarkeitsfenster, wobei er tief am Morgenhimmel mit etwa 3^m 0 zu sehen war. Ähnlich hell wurden in den folgenden Jahren aber auch die zwei heute kaum noch bekannten Kometen **C/1989 W1 (Aarseth-Brewington)** und **C/1990 K1 (Levy)**.

Die Kometen der 1990er-Jahre

Bereits seit Anfang der 1980er-Jahre war nach ihm gesucht worden, die Wiederentdeckung gelang schließlich im September 1992: Der

Ursprungskomet der Perseiden, **109P/Swift-Tuttle**, war zurück. Die Umlaufzeit konnte nun auf 135 Jahre bestimmt werden. Zum Perihel im Dezember erreichte Swift-Tuttle eine maximale Helligkeit von 5^m 0 und eine Schweiflänge von etwa 7°. 122P/deVico, ein weiterer Komet der Halley-Familie, konnte bei seiner Wiederkehr im Herbst 1995 mit ähnlicher Helligkeit beobachtet werden. Die Umlaufzeit dieses Kometen beträgt 74 Jahre. Dazwischen gab es ein Ereignis, das in dieser Dimension bis heute einzigartig blieb: den Einschlag des Kometen **D/1993 F2 (Shoemaker-Levy)** auf Jupiter. Für Amateure nicht direkt beobachtbar, wurde diese Kollision zu einem großen Medien- und vor allem Internet-Event. Unzählige von Raumsonden und Großteleskopen aufgenommene Bilder erreichten so die Interessenten.

Das Jahr 1996 brachte dann gleich zwei sehr helle Kometen. Zunächst sorgte im Frühjahr **C/1996 B2 (Hyakutake)** für Aufsehen. Mit einer Helligkeit von knapp –1^m 0 und einer Schweiflänge von bis zu 100° gehörte er zu den eindrucksvollsten Kometen des Jahrhunderts. Ende März bewegte er sich in nur 0,10AE an der Erde vorbei, Anfang Mai erreichte er die Sonnennähe in 0,23AE Abstand.

Während Hyakutake nur wenige Wochen sichtbar blieb, wurde **C/1995 O1 (Hale-Bopp)** Mitte 1996 freisichtig und blieb es bis Dezember 1997 – ein unerreichter Rekord. Sein Perihel durchlief der Ausnahme-Komet exakt 11 Monate nach Hyakutake, am 1. April

1997, der kleinste Sonnenabstand betrug gewaltige 1,31AE. Durch die lange Sichtbarkeit und eine Helligkeit von –0^m 5 über mehrere Wochen hinweg löste er 1P/Halley als am meisten fotografierten und beobachteten Kometen ab.

Das restliche Jahrzehnt blieb ohne nennenswerte Kometen – mit Ausnahme von **C/1999 S4 (LINEAR)**, der sich Ende Juli 2000 innerhalb weniger Tage vollständig auflöste. Zuvor hatte er eine Helligkeit von rund 6^m 0 erreicht und einen mehrere Grad langen Plasmaschweif ausgebildet. Das Besondere an der zweiten Hälfte der 1990er-Jahre war der explosive Anstieg der Kometenentdeckungen, bedingt durch die Einrichtung mehrerer Himmelsdurchmusterungs-Projekte. 1997 wurden erstmals mehr als 100 neue Kometen pro Jahr entdeckt. Im nächsten Jahrzehnt stieg diese Zahl dann auf über 200 Entdeckungen.

Die Kometen der 2000er-Jahre

Das neue Jahrtausend brachte zunächst die beiden etwa 4^m 5 hellen **LINEAR-Kometen C/2000 WM1** und **C/2001 A2**. Letzterer überraschte die Beobachter im Frühjahr und Sommer 2001 mit mehreren Helligkeitsausbrüchen und einer Kernfragmentierung. Im Februar und März 2002 konnte die Wiederkehr eines Schweifsterns nach rund 350 Jahren verfolgt werden. **153P/Ikeya-Zhang** wurde 3^m 0 hell und entwickelte einen 4° langen Schweif. Derselbe Komet war bereits im

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.



C/1995 O1 (Hale-Bopp)

Bürkhard Leitner

153P/Ikeya-Zhang

Gerald Rhemann

1997	1998	1999	2000	Deep Space 1 2001	2002	2003	Stardust 2004	Deep Impact 2005
------	------	------	------	----------------------	------	------	------------------	---------------------

▲ Abb. 1b: Die wichtigsten hellen Kometen und ihre Erforschung aus dem Weltraum in den letzten 35 Jahren.

17. Jahrhundert durch Johannes Hevelius entdeckt und beobachtet worden. Er ist nun der Komet mit der längsten Umlaufzeit, der eine permanente Nummerierung erhalten hat.

Anfang 2003 kamen die Kometen C/2002 X5 (Kudo-Fujikawa) und C/2002 V1 (NEAT) der Sonne so nahe, dass erstmals helle Kometen im Bildfeld des Sonnenobservatoriums SOHO zu sehen waren. C/2002 V1 wurde Anfang Februar 2003 freisichtig und erreichte 2^m0, verschwand aber bald darauf in der Dämmerung. Im Perihel kam er bis auf 0,09AE an die Sonne heran und entwickelte dabei einen etwa 5° langen Plasmaschweif.

2004 brachte gleich drei helle Frühjahrskometen: Der erst im März vom australischen Kometenveteranen William Bradfield entdeckte C/2004 F4 (Bradfield) war nach seinem Periheldurchgang für wenige Wochen mit bis zu 4^m0 Helligkeit am Morgenhimmel zu sehen. Länger beobachtbar blieb C/2002 T7 (LINEAR), der von Oktober 2003 bis Februar 2004 am Himmel stand. Sein Maximum von 3^m0 und extreme Schweiflängen von über 20° erreichte LINEAR dann zur Erdnähe im Mai, als er leider nur noch von der Südhalbkugel aus beobachtbar war. Ebenfalls im Mai war C/2001 Q4 (NEAT) bestens zu sehen, als er vom Südhimmel kommend mit 3^m5 am Abendhimmel stand.

Einen vierten Kometen gab es dann ab Dezember mit einer weiteren Amateurentdeckung: Auch C/2004 Q2 (Machholz) war mit bloßem Auge zu sehen und blieb beson-

ders durch seine enge Begegnung mit den Plejaden zu Jahresanfang 2005 in Erinnerung. 2005 brachte keine weiteren hellen Schweifsterne, aber einen Höhepunkt der Kometenforschung, als am 4. Juli der Impaktor der Raumsonde »Deep Impact« den Kern des Kometen 9P/Tempel traf. Die Fontäne des Auswurfmaterials wurde von der Vorbeiflugsonde und zahlreichen Observatorien beobachtet und ihre Zusammensetzung analysiert.

Das Jahr 2006 bescherte den Kometenbeobachtern wieder ein ganz besonderes Ereignis. Der seit 1995 fragmentierte Komet 73P/Schwassmann-Wachmann kam im Mai bis auf etwa 0,07AE an die Erde heran und die beiden Hauptkomponenten B und C erreichten die Sichtbarkeitsgrenze für das bloße Auge. Eine Entdeckung vom August sorgte schließlich Anfang 2007 für Furore: C/2006 P1 (McNaught) wurde zum hellsten Kometen seit Ikeya-Seki 1965 und war Mitte Januar mit -5^m0 sogar am Taghimmel sichtbar. Noch eindrucksvoller wurde er in der zweiten Monatshälfte, als er mit einem weit aufgefächerten 30°-Staubschweif am Südhimmel stand.

2007 brachte noch ein zweites Kometenhighlight, als Ende Oktober der periodische Komet 17P/Holmes mit einem explosiven Ausbruch bis 2^m0 hell wurde und damit seine Helligkeit plötzlich um 14 Größenklassen steigerte. 17P blieb noch bis Februar für das bloße Auge sichtbar, dann wurde die Flächenhelligkeit zu gering. Die Begegnung mit

dem Califonianebel Anfang März blieb den Fotografen vorbehalten.

2009 war das Jahr von C/2007 N3 (Lulin), der im ersten Jahresdrittel die 5. Größenklasse erreichte und entlang der Ekliptik Spika, Saturn und Regulus begegnete.

Wie gehts weiter?

Der hellste Komet 2010 war C/2009 R1 (McNaught), der im Juni 5^m0 erreichte. 2011 war ein ruhiges Jahr für Kometenbeobachter, interessant wurden nur die Erdnähe von 45P/Honda-Mrkos-Pajdusakova im September und der Langzeitkomet C/2009 P1 (Garradd), der von Juli 2011 bis April 2012 Fernglas-Helligkeit besaß und im Maximum 6^m5 hell war. Eine handfeste Überraschung lieferte C/2011 W3 (Lovejoy) – ein Sonnenstreifer, der entgegen der Expertenmeinung seine Sonnennähe überstand und Ende Dezember 2011 einen bis zu 30° langen Schweif entwickelte. Leider blieb seine Sichtbarkeit auf die Südhalbkugel beschränkt. Erst im »Kometenjahr 2013« (vgl. Beitrag S. 30) kamen wieder hellere Schweifsterne in Sicht, mit PANSTARRS, Lemmon, ISON und Lovejoy waren es gleich vier davon.

In den kommenden Jahren erwarten uns einige interessante Kometen – eine konkrete Vorhersage ist jedoch nur zu bereits entdeckten und wiederkehrenden periodischen Kometen möglich.

2014 bringt noch C/2012 K1 (PAN-

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.



C/2006 P1 (McNaught)

ESO



C/2012 S1 (ISON)

Gerald Rhemann

2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Rosetta 2014
------	------	------	------	------	------	------	------	-----------------

STARRS), der im Sommer möglicherweise 6^m erreichen könnte. Ähnlich hell könnten im Herbst C/2013 A1 (Siding-Spring) und C/2013 V5 (Oukaimeden) werden. In großer Entfernung entdeckt wurden C/2013 US10 (Catalina) und C/2013 X1 (PANSTARRS), die 2016 ebenfalls 5^m bis 6^m hell werden könnten. Helle periodische Kometen sind selten, meist führen nur knappe Erddistanzen zu größeren Helligkeiten. 2017 kommen 45P/Honda-Mrkos-Pajdusakova und 41P/Tuttle-Giacobini-Kresak 0,08AE bzw. 0,14AE an uns heran und werden wahrscheinlich die Grenze der Freisichtigkeit erreichen. Auch 46P/Wirtanen wird im Dezember 2018 im Abstand von 0,08AE an der Erde vorbeiziehen und eine respektable Erscheinung bieten.

Wann wieder ein sehr heller Komet erscheinen wird, lässt sich nicht vorhersagen. Die Tendenz der letzten Jahrhunderte zeigt, dass im Durchschnitt etwa alle 11 Jahre ein Großer Komet in Sonnennähe kommt. Pausen von 30 oder mehr Jahren sind dabei aber ebenso möglich wie zwei Exemplare in kurzem Abstand.

Die hellsten Kometen der letzten 35 Jahre				
Komet	Perihel	max.Hell.	Bemerkung	
C/1980 Y1 (Bradfield)	21. Dezember 1980	4 ^m 0	gesteigerte Helligkeit durch »Vorwärtsstreuung«	
C/1982 M1 (Austin)	24. August 1982	4 ^m 5	–	
C/1983 H1 (IRAS-Araki-Alcock)	21. Mai 1983	2 ^m 0	extreme Erdnähe; bis zu 2° Durchmesser	
C/1984 N1 (Austin)	12. August 1984	4 ^m 5	–	
1P/Halley	9. Februar 1986	2 ^m 5	Wiederkehr des bekanntesten periodischen Kometen	
23P/Brorsen-Metcalf	11. September 1989	5 ^m 0	Umlaufzeit 70 Jahre	
C/1989 W1 (Aarseth-Brewington)	28. Dezember 1989	3 ^m 5	–	
C/1989 X1 (Austin)	19. April 1990	4 ^m 5	schwächer als erwartet	
C/1990 K1 (Levy)	24. Oktober 1990	3 ^m 5	–	
109P/Swift-Tuttle	12. Dezember 1992	5 ^m 0	Ursprung der Perseiden	
C/1996 B2 (Hyakutake)	1. Mai 1996	0 ^m 0	Großer Komet; Schweiflänge 80° bis 100°	
C/1995 O1 (Hale-Bopp)	1. April 1997	–0 ^m 5	Rekordkomet – 18 Monate freisichtig	
C/2001 A2 (LINEAR)	24. Mai 2001	4 ^m 0	Helligkeitsschwankungen	
C/2000 WM1 (LINEAR)	22. Januar 2002	4 ^m 5	–	
153P/Ikeya-Zhang	18. März 2002	3 ^m 0	Wiederkehr nach mehr als 300 Jahren	
C/2002 F1 (Utsunomiya)	22. April 2002	4 ^m 0	–	
C/2002 V1 (NEAT)	18. Februar 2003	3 ^m 0	Periheldistanz 0,09AE; im Sichtfeld von SOHO	
C/2004 F4 (Bradfield)	17. April 2004	4 ^m 0	Schweiflänge 20°	
C/2001 Q4 (NEAT)	15. Mai 2004	3 ^m 0	zusammen mit C/2002 T7 (LINEAR) freisichtig	
C/2004 Q2 (Machholz)	24. Januar 2005	3 ^m 5	Plejaden-Passage	
C/2006 M4 (SWAN)	28. September 2006	4 ^m 5	–	
C/2006 P1 (McNaught)	12. Januar 2007	–5 ^m 0	Großer Komet; Tagsichtbarkeit und eindrucksvoller Schweif	
17P/Holmes	4. Mai 2007	2 ^m 0	extremer Ausbruch	
C/2007 N3 (Lulin)	10. Januar 2009	5 ^m 0	Bewegung entlang der Ekliptik; Gegenschweif	
C/2011 W3 (Lovejoy)	16. Dezember 2011	–3 ^m 0	Kreutz-Sungrazer – überlebt enge Sonnenpassage	
C/2011 L4 (PANSTARRS)	10. März 2013	1 ^m 5	15° langer Gegenschweif	
C/2012 F6 (Lemmon)	24. März 2013	4 ^m 5	heller als erwartet	
C/2012 S1 (ISON)	28. November 2013	3 ^m 5	Sunsirter – Auflösung im Perihel	
C/2013 R1 (Lovejoy)	22. Dezember 2013	5 ^m 0	heller als erwartet	

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

Hundert Kometen

Rückblick auf 28 Jahre
Kometenfotografie

von Uwe Wohrab

← 1P/Halley

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

Ob hell oder schwach, ob groß oder klein – Kometen haben vielfältige Erscheinungsformen. Seit Komet Halley habe ich versucht, sie alle im Bild festzuhalten. Schwarzweiß- oder Diafilm, Mittelformat oder Digitaltechnik: Während sich die Technik weiterentwickelte, ist die Faszination der geschweiften Himmelskörper geblieben. Ende 2013 konnte ich den 100. Kometen meiner Fotografen-Laufbahn ablichten.

Als 1985 der Komet Halley wieder in Sicht kam, begann ich gerade meine ersten Versuche in der Sternfeldfotografie. Es gab eine Schulsternwarte in meinem Heimatort Schönebeck bei Magdeburg. Die Fachgruppe Astronomie im damaligen Kulturbund hatte hier ihren Beobachtungsplatz, der auch reichlich zur visuellen und später auch fotografischen Arbeit genutzt wurde. Zwei Zeiss-Montierungen für die Schul- bzw. Amateurastronomie, ein 150mm-Cassegrain und mehrere 63mm-Telementoren standen zur Verfügung. Mit einer Praktica L2 und 200mm-Teleobjektiv und dem Orwo-NP27 Schwarzweiß-Film waren die Voraussetzungen gegeben, den berühmten Kometen bei seiner Wiederkehr zu fotografieren. So entstand am 17. November 1985 auf dem Dach der Bruno-Bürgel-Schule in Schönebeck-Salzelmen mein erstes Kometenfoto: Halley bei den Plejaden (Abb. 1).

Dunkelkammer und Sternwarte

Es folgten in den Jahren 1987/88 weitere kleinere Kometen, die ebenfalls auf NP27 fotografiert wurden. Die beiden hellsten davon waren Bradfield (1987s) und 23P/Brorsen-Metcalf. Zu dieser Zeit entwickelte sich auch die Zusammenarbeit mit einem jungen, sehr aktiven Kometenbeobachter aus Magdeburg, Marcus Richert († 2004). Seine Ergebnisse, auch im Deep-Sky-Bereich, motivierten meine eigene fotografische Arbeit sehr. Eine Dunkelkammer, zunächst für die Schwarz-

◀ Abb. 1: Der erste von 100 Kometen: 1P/Halley bei den Plejaden am 17.11.1985. Praktica L2, 200mm-Teleobjektiv bei f/4, 10min auf Orwo-NP27.



▲ Abb. 2: Die Sternwarte des Autors 2005: 10"-Newton, 6"-Refraktor und 4,4"-Kometensucher auf schwerer deutscher Montierung (alles Eigenbau).

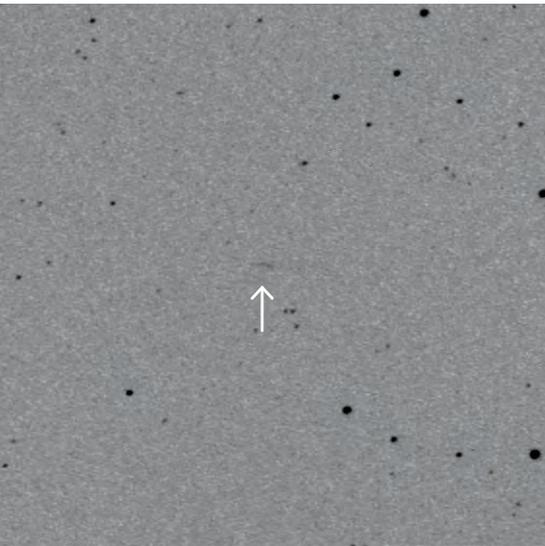
weiß-Fotografie und später auch für Papierbilder in Farbe, ließ die schnellere Begutachtung der Ergebnisse zu.

1987 schon keimte der Wunsch nach einer größeren Teleskoptechnik auf. Ich begann mit der Planung einer Sternwarte im heimischen Garten. Ein komplettes, 6m hohes Gebäude, angeschlossen an einen bereits bestehenden Garagen-Werkstatt-Komplex, sollte es werden. Mit fünf Jahren Bauzeit entstand so die Amateursternwarte Schönebeck. Als große Hilfe erwies sich mein Vater. Ohne seine handwerklichen Fähigkeiten wären das Gebäude mit dem riesigen Schiebedach und auch die Fernrohrmontierung in dieser Form nicht möglich gewesen. Aber es

halfen auch viele andere Sternfreunde beim Aufbau mit. Bezeichnend ist die Arbeit von Guido David (Schönebeck), der die Montierungssteuerung realisierte, die heute noch mit einem KC 85-Rechner aus DDR-Zeiten funktioniert (Abb. 2).

Neue Horizonte

Eine eigene Sternwarte, die Wendezeit (durch die auch neues Filmmaterial verfügbar war) und eine Lichtenknecker Flatfield-Kamera eröffneten auch in der Kometenfotografie neue Horizonte. Eine rasante Entwicklung setzte ein. Ich erinnere mich gut an die Kometen Levy und Austin 1990. Während Austin



▲ Abb. 3: Shoemaker-Levy 9 am 16.5.1993 (Reflex links durch den nahen Jupiter), 500mm-Flatfield-Kamera bei $f/3,5$, 20min auf TP2415hyp. Marcus Richert, Uwe Wohlrab, Steffen Fritsche



▲ Abb. 4: Komet 17P/Holmes am 4.11.2007, 10"-Newton bei 540mm, 10min auf 6×6-Rollfilm Fuji-Provia 400.



▲ Abb. 5: Komet Hale-Bopp am 6.4.1997, aufgenommen bei Schweinitz im Fläming. Marcus Richert

von der Schulsternwarte aus fotografiert wurde, konnte Levy schon mit einer kleinen Anlage von der noch im Bau befindlichen Sternwarte aus abgelichtet werden. Bevorzugter Film war der gehypte Technical-Pan 2415 von Kodak. Weit über 100 Filme wurden bis in die Jahre 1997/98 hypersensibilisiert. Nach Swift-Tuttle mit einer ausgeprägten Schweifstruktur (1992) war dann der Jupiterkomet Shoemaker-Levy 9 (1993) das nächste Highlight. Es gelang mit der kleinen Flatfield-Kamera, den schon zerfallenen Kometen in der Nähe des Gasriesen zu fotografieren. Wir waren begeistert, auch als wir die Einschlagstellen auf Jupiter beobachten konnten (Abb. 3).

Schwache und helle Kometen

Viele schwächere Kometen standen in der Folgezeit auf dem Beobachtungsplan. Die helleren hießen McNaught-Russel, Takamizawa-Levy (zog am Cirrusnebel vorbei) und Machholz (1994o). Für eine Überraschung sorgte der Komet DeVico, der im Herbst 1995 am Morgenhimmel mit langem Schweif auftauchte.

Es war am 27. März 1996, als Marcus gegen 3 Uhr morgens auf der Sternwarte eintraf. Nach wochenlang schlechtem Wetter riss über Nacht der Himmel vollständig auf. Trockene klare Luft, und über uns ein Komet,

wie wir ihn noch nie zuvor gesehen hatten: Hyakutake! Marcus erzählte, dass er auf der Fahrt von Magdeburg nach Schönebeck einen Umweg fuhr, um außerhalb der Stadt frei von Streulicht den Kometen in voller Pracht bewundern zu können. Er fuhr auf einem Feldweg, weit entfernt von der Straße, und hielt irgendwo an. Diese Geschichte wäre nicht weiter erwähnenswert, wenn nicht plötzlich die Polizei neben ihm gestanden hätte, mit der Frage nach dem Grund seiner nächtlichen »Irrfahrt«. Marcus wies mit der Hand nach oben, und nun wurde auch den Polizisten klar, dass da etwas ganz Seltenes vorbeizog.



U. Glahn

▲ Abb. 6: Der Autor mit dem Delta graphen am Tiefenbachferner/Ötztaler Alpen 2013.

Diese Nacht wird unvergesslich bleiben, genau wie ein Jahr später die klarste Nacht für Hale-Bopp am 6. April 1997 (Abb. 5). Schon längst waren wir mobil geworden mit einer kleinen Montierung von Astro-Physics und der schon erwähnten FFC 3,5/500. Ebenso kamen, neben dem TP2415, nun mehr und mehr Farbfilme zum Einsatz. Pro Gold 400 hieß der bevorzugte Negativfilm von Kodak.

Größer, weiter, höher

1997 änderte sich das Teleskop auf der Sternwarte. Der 200mm-Newtonspiegel musste einem 250mm-Teleskop weichen. Ein 150mm-

Refraktor (Halbapo, Brennweite 2250mm) kam hinzu. Beide Optiken wurden von Thomas Heising (Oschersleben) hergestellt. Ein 110mm-Zeiss-Kometensucher behielt seinen Platz als Leitfernrohr.

2001 wechselte auch das Hauptgerät der mobilen Anlage. Ein Delta graph mit 250mm Öffnung (Brennweite 830mm) ist seit dieser Zeit die wichtigste Optik. Das Aufnahmeformat vergrößerte sich auf 6×6- bzw. 6×7- Rollfilm. In der Regel wurden Dias gemacht. Der erste große Komet, der fast zu jeder Gelegenheit im neuen Format fotografiert wurde, war Ikeya-Zhang (2002). 2004 bezauberte NEAT (C/2001 Q4) – eine lange Zeit mit M 44 auf

mancher Feldaufnahme zu sehen. Außerdem führen Marcus und ich nun jährlich, zusammen mit einigen anderen Sternfreunden, in die Ötztaler Alpen. Dort, am Tiefen- oder Rettenbachferner (2800m), gelangen natürlich ebenfalls viele Fotos der gerade sichtbaren helleren Kometen (Abb. 6).

Stadt vs. Land

In den Jahren 2005 bis 2012 behielt ich das Konzept, auf Dia-Mittelformat zu fotografieren, bei. C/2004 Q2 Machholz, der Anfang 2005 an den Plejaden vorbeizog, gelang nur von der Sternwarte aus, da ein Sturm-



▲ Abb. 7: PANSTARRS (C/2011 L4) und M 31 am Abend des 1.4.2013 bei Schweinitz im Fläming. Exakta 66, 120mm-Objektiv bei f/4, 7min auf Fuji-Provia 400.



▲ Abb. 8: Der 100. Komet: McNaught P/2013 J2 am 30.11.2013. 10"-Deltagraph bei 830mm, Ricoh GXR A12. Aufgenommen bei Hobeck im Fläming.

tief jede Beobachtung außerhalb der Stadt vereitelt hätte. 17P/Holmes wurde ebenfalls fast nur aus der Stadt heraus fotografiert. Die Dias vom Helligkeitsausbruch dieses Kometen profitierten von der verlängerten Brennweite des Newtons (5400mm!), mit der ich damals für die Deep-Sky-Fotografie experimentierte (Abb. 4).

Allgemein haben sich die Bedingungen am Südrand von Schönebeck in den 1990er-Jahren kontinuierlich verschlechtert. Konnte man 1993 noch das Zodiaklicht morgens von der Sternwarte aus wahrnehmen, so ist es jetzt schon schwierig, in einer matten Milchstraße die Schildwolke auszumachen. Dementsprechend verlagerte sich die Kometenbe-

obachtung auf Standorte außerhalb der Stadt, etwa eine halbe bis eine Autostunde von Schönebeck entfernt – man sieht bei sehr guten Nächten von dort sogar den Gegenschein.

Digitaltechnik hält Einzug

Mit dem Verschwinden des vorrangig verwendeten Diafilms Kodak E200 wurde es auch für mich Zeit, auf Digitaltechnik umzustellen. Bis 2012 wurden 77 Kometen auf Filmmaterial gebannt. Das Archiv enthält weit mehr als 1000 Fotos. Allein von Hale-Bopp sind es ca. 300 Bilder. Rückblickend muss man sagen: Es gibt in der Fotografie kaum Authentischeres als ein Dia-Positiv.

Mit dem Ende der Belichtung und der Entwicklung im Labor ist das Bild fertig – keine Nachbearbeitung, keine Retusche, nur ein Rahmen ringsum, damit man es projizieren kann. Das war – und ist! – etwas Besonderes. Und noch immer kommt kein Beamerbild an die Auflösung und Brillanz eines projizierten Mittelformatdias heran (auf jeden Fall keines, das man bezahlen kann).

Dennoch kannte ich die Ergebnisse der anderen Kometenfotografen und wusste um die Vorteile der neuen Technik. Ich begann die Suche nach einer geeigneten digitalen Kamera. Das Auflagemaß musste weniger als 30mm betragen, damit die Adaption an den Deltagraphen möglich war.



▲ Abb. 9: C/2013 R1 (Lovejoy) am 14.11.2013. Unbearbeitetes Rohbild der Ricoh GXR A12 am 10"-Deltagraphen, 2min bei ISO 1600.

Die Wahl fiel auf ein Modell von Ricoh, die GXR A12 mit einem Leica-Objektivbajonett. Diese Systemkamera hat einen hervorragenden APS-C-Sensor, der vor allem bei wenig Licht seine Stärken ausspielt. Hinzu kommt ein eingebauter Intervallmodus bis 3min Belichtungszeit. Durch meine Arbeit als CNC-Fräser konnte der recht aufwendige Adapter zum Korrektor des Deltagraphen im Eigenbau realisiert werden.

Hundert Kometen

PANSTARRS (C/2011 L4), Lemmon (C/2012 F6), ISON und der Anfang 2014 noch sichtbare Lovejoy waren die hellsten Schweifsterne,

die bisher mit der neuen Kamera aufgenommen wurden. Es ist natürlich ungemein motivierend, die Ergebnisse zum Ende der Belichtung sofort zu sehen. Hin und wieder jedoch hole ich auch noch die alte Mittelformatkamera heraus und bestücke sie mit einem Diafilm für die Weitfeldaufnahme eines helleren Kometen (Abb. 7).

In der Bildbearbeitung halte ich mich bescheiden. Ich verwende bisher nur Fotos im jpg-Format und benutze ausschließlich Fitswork und den Faststone-Image-Viewer zur Nacharbeit. Manchmal sind mir sogar die unbearbeiteten Einzelbilder, so wie sie von der Kamera kommen, am liebsten (Abb. 9).

Am 30. Oktober 2013 war der unscheinbare Komet P/2013 J2 (McNaught) der 100. Komet auf meiner Liste, aufgenommen bei Hobeck, einem kleinen Dorf am Westrand des Höhenzugs Fläming. Dies ist der neue Standort für unsere kleine aktive Beobachtergruppe aus Schönebeck, Magdeburg und Irxleben (Abb. 8).

Es ging schnell in der letzten Zeit: 14 Kometen in einem Jahr und über 50 Beobachtungsnächte! Die Faszination der Kometenfotografie lässt mich auch nach 28 Jahren nicht los.

40 Jahre Kometenfotografie

Ein Rückblick auf Techniken und Trends

von Jürgen Linder

▲ Abb. 1: Als Komet West am 5.3.1976 am Himmel stand, gab es nur wenige ausreichend empfindliche Farbfilme. Hier wurde Kodak High Speed 23 DIN eingesetzt. 85mm-Objektiv bei $f/2$. Jürgen Linder

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.



Die Kometenfotografie hat sich in den vergangenen vierzig Jahren erheblich verändert: Der noch lange Zeit dominante fotografische Film ist inzwischen vollständig digitalen Sensoren gewichen, die Bildqualität von Amateuraufnahmen ist heute höher als manches Profimaterial der Anfangszeit. Dieser Artikel wirft einen Blick zurück auf die Techniken und Trends der letzten 40 Jahre.

Von 1973 bis in die ersten Jahre des neuen Jahrtausends überwogen noch die Aufnahmen mit analogem Filmmaterial. Wenn man das große Bildarchiv der Fachgruppe Kometen durchsieht (vgl. Surfipps), findet man allerdings auch noch im Jahr 2007 Aufnahmen auf Film, etwa von Komet 17P/Holmes während seines Ausbruchs. Anfangs verwendete man noch Filme mit den Markennamen Agfa, Fuji, Ilford, Kodak, Revue (Fa. Quelle) sowohl als Schwarzweiß- als auch als Farbfilm, wobei bei Farbe meist Diafilm bevorzugt wurde. Für den Astrofotobereich gab es von der Firma Kodak spezielle Astrofilme

▼ Abb. 2: Bei dieser Aufnahme von Komet Levy am 24.8.1990 kam Agfa RS 1000 zum Einsatz. 190/760-Baker-Schmidt-Kamera, 15min belichtet. *Markus Griesser*





▲ Abb. 3: Für dieses Foto von Ikeya-Zhang am 8.4.2002 wurde eine 5min-Aufnahme auf TP2415 mit einem 4min-Foto auf Ektachrome 100 kombiniert.

mit den Bezeichnungen Kodak 103a E,F,G,O, die für bestimmte Wellenlängen besonders empfindlich waren. Diese Filme hatten einen Schwarzschildexponenten, der bei etwa 0,9 lag, erlaubten also besonders lange Belichtungen. Herkömmliche Filme kamen bis 0,6. Der bekannte Kodak TRI-X PAN hatte 0,72, war aber nur im visuellen Bereich empfindlich.

Der Standard: TP2415

Kodak 103aE war besonders im roten Spektralbereich mit den entsprechenden Filtern einzusetzen. Die Filme waren aber sehr anspruchsvoll bei der Verarbeitung und relativ grobkörnig. Kodak brachte in den 1970er-Jahren nach einigen Varianten den unter

dem Namen Technical PAN 2415 (1977–2004) bekannten Schwarzweiß-Film heraus. »Der TP«, wie er von den Fotografen kurz genannt wurde, war relativ unempfindlich, hatte aber die erfreuliche Eigenschaft, sehr feinkörnig zu sein. Die Rotempfindlichkeit war gut und kombiniert mit dem Einsatz schneller Optiken wie Schmidt-Kameras



binert. 170/300-Schmidtamera. *Norbert Mrozek*

eine echte Alternative zu anderen Schwarzweiß-Materialien.

In den 1980er-Jahren konnte dann die Empfindlichkeit der meisten Filme bei Langzeitbelichtungen durch die Technik des Hypersensibilisierens verbessert werden, einer Behandlung des Films unter Druck, Temperatur und mit sogenanntem Forming-

Gas oder reinem Wasserstoff. Der meistverwendete Film war nun der TP hypersensibilisiert.

Mehrere Stunden Belichtung

Auch Farbfilme konnten »gehypert« werden, womit nun auch weniger lichtstarke Optiken

gute Ergebnisse liefern konnten. Die Belichtungszeiten lagen zwischen einigen Minuten und mehreren Stunden: bei Kometen eine anstrengende Fleißaufgabe, da bei den längeren Belichtungszeiten direkt auf den Kometenkern nachgeführt werden musste. Bei schwachen Kometen war das nicht möglich, hier musste auf Sterne nachgeführt und während der



▲ Abb. 4: Fuji Provia war der Film, auf dem C/2002 T7 (LINEAR) am 20.4.2004 festgehalten wurde. 4"-Refraktor bei 400mm Brennweite. Für

Aufnahme kontinuierlich die Bewegung des Kometen ausgeglichen werden. Dazu gab es Fadenkreuzokulare, die eine Winkelskala für den Bildwinkel hatten und im Feld den Versatz zum Stern einzustellen erlaubten, der bei längerer Belichtungszeit immer größer wurde.

Um 1990 kamen dann die ersten bezahlbaren CCD-Kameras auf. Die Firma SBIG

stellte z.B. die ST-4 vor, welche dem Astrofotografen die anstrengende Nachführung mit Fadenkreuzokular abnahm. Sie eignete sich aber auch zur Aufnahme selbst, so dass einige Astrofotografen auch schon auf die analoge Technik verzichteten. Der ST-4-Anschluss für Autoguides ist bis heute Standard.

DSLR und CCD

1991 brachte Kodak die erste Digitale Spiegelreflexkamera (DSLR) auf den Markt. 1999 kam die Nikon D1, 2001 die Canon EOS 1D und erst 2003 folgte die EOS 300D: Mit dieser Kamera setzte sich mehr und mehr die Digitalfotografie in der Astro- und Kometenfotografie



dieses Bild wurden zwei Aufnahmen von 8min (Provia 400) und 10min (Provia 120) kombiniert. *Rainer Mannoff*

grafie durch. Inzwischen gibt es DSLRs für 300 bis 400 Euro und umgebaute DSLRs für mehr Rotempfindlichkeit kosten um die 600 Euro. Die Firma Canon bietet auch Kameras, die bereits einen Filter eingebaut haben, um tiefer in den roten Bereich vorzustoßen (z.B. Canon EOS 60Da). Für die Kometenfotografie ist die erweiterte Rotempfindlichkeit aller-

dings nicht notwendig, macht sich aber gut bei Himmelsfeldern mit Gasnebeln, wenn sich ein Komet in der Nähe befindet.

Heute wird fast nur noch digital fotografiert, wobei meist mit der DSLR (Farbe, CMOS-Chip) gearbeitet wird. Bei den gekühlten CCD-Kameras dürften die Schwarzweiß-Varianten überwiegen. Hier gelangt man zu Farbaufnah-

men, indem man mit Filtern mindestens je eine Rot-, Grün- und Blau-Aufnahme anfertigt.

Informationen sind rar

Bis zum Durchbruch des Internets lagen Aufnahmen nur in Form von Abzügen vor. Da in den einschlägigen Zeitschriften meist nur die



▲ Abb. 5: Mit einer Digitalen Spiegelreflexkamera (Canon EOS 20D) wurde Komet McNaught am 10.1.2007 in der Dämmerung erwischt. 85/480mm-Refraktor, 1s belichtet bei ISO 200. *Thorsten Boeckel*

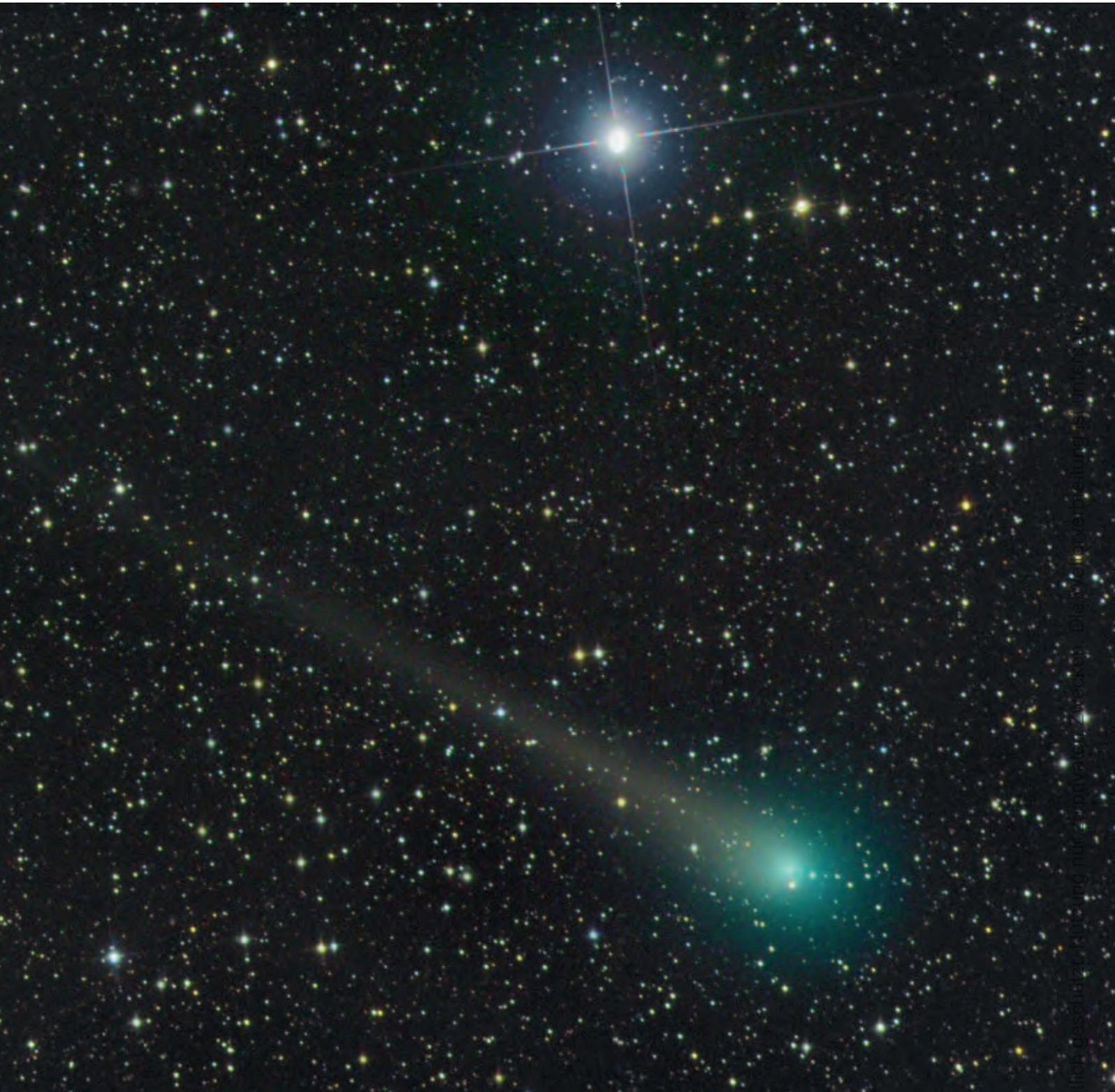
helleren Kometen mit wenigen Bildern veröffentlicht wurden, gibt es auch relativ wenige Kometenaufnahmen aus den Jahren 1973 bis ca. 1985. Dies lag zum Teil auch daran, dass nur wenige Beobachter überhaupt rechtzeitig an Informationen zu neuen Kometen gelangten: Nur wenn ein möglicher hellerer Komet frühzeitig entdeckt wurde, hatte man überhaupt eine Chance, wie

z.B. 1973/74 beim Kometen Kohoutek 1973 EI. Wie langsam damals die Astromedien waren, mag am Fall des Kometen Kobayashi-Berger-Milon deutlich werden. Der Autor erfuhr Ende Juli 1975 von einer Bekannten von dem Kometen. Deren Vater war zu der Zeit gerade für einige Tage in den USA und hatte über den Kometen in den dortigen Zeitungen gelesen. So

konnte der Autor diesen Kometen beobachten, noch lange bevor etwas hier in den deutschen Astrozeitschriften stand. Heute kann man sich das kaum mehr vorstellen.

Fazit

Es gibt heute deutlich mehr Fotografen als frü-



▲ Abb. 6: Eine CCD-Kamera vom Typ SBIG ST-10XME kam am 17.3.2009 zum Einsatz, als Komet Lulin am Himmel stand. 200/570-Astrograph, 5min (L), 1min (je RGB). David Bender

her, und dank des Internets erhält man nun Bilder und Informationen von vielen Beobachtern. Die führenden Fotografen sind aber die gleichen wie vor der digitalen Zeit, und der Beobachtungsplatz (dunkler Himmel) ist nach wie vor sehr wichtig. Die Qualität der Bilder ist besser geworden, bedingt durch die Technik: Weniger Rauschen lässt Kometenschwei-

fe besser hervortreten, und der Dynamikumfang der Kameras ist größer, sodass man den Schweif und die Koma mit weniger Über-/Unterbelichtung aufnehmen kann. Durch die digitale Dunkelkammer wird bei der Bildbearbeitung und -Aufbereitung allerdings auch mehr getrickst.

SURFTIPPS



- Bildarchiv der Fachgruppe Kometen

 [Kurzlink: oc1m.de/03mf](https://oc1m.de/03mf)

Auf und ab

Lichtkurven von Kometen selbst berechnen

von Uwe Pilz

T. Schramm

▲ Abb. 1: Die ungefähre Helligkeitsentwicklung eines Kometen vorherzusagen, ist mithilfe mathematischer Methoden und Helligkeitsschätzungen vieler Beobachter möglich. Die drei Abbildungen zeigen die Helligkeitsentwicklung von Komet C/2013 R1 (Lovejoy) mit Aufnahmen vom 25.11.2013 (Thilo Schramm), 1.12.2013 (Thomas Winterer) und 3.1.2014 (Gerald Rhemann).

Kometen können sich in kurzer Zeit stark verändern, dies betrifft sowohl die Gestalt als auch die Helligkeit. Es ist von erheblichem Interesse, die Ursachen solcher Veränderungen zu ergründen. Die wichtigste Methode hierfür ist die Auswertung von Helligkeitsverläufen: Dies bedeutet, die Lichtkurve eines Kometen zu modellieren und die Modellparameter zu bestimmen. Eine solche Vorgehensweise gestattet zudem eine Prognose. Außerdem kann ein solcherart analysierter Komet typisiert werden. Bei periodischen Kometen werden die Änderungen von Perihel zu Perihel deutlich.



T. Winterer



G. Rhemann

Die Auswertung eines Helligkeitsverlaufes ist umso deutlicher, je besser die Datenbasis ist. Dies betrifft sowohl die Anzahl als auch die Güte der Einzelmessungen. Ausschließlich auf eigene Beobachtungen sollte man eine Auswertung nicht gründen. Öffentlich zugängliche Quellen für Helligkeitsbestimmungen sind:

- die jüngsten Helligkeitsschätzungen (»recent magnitude estimates«), die beim ICQ-Journal eingehen und auf der Webseite des Journals abrufbar sind

- die Publikationen von Beobachtergemeinschaften verschiedener Länder: Hervorzuheben sind die deutschsprachigen, lateinamerikanischen und slowenischen Gruppen.
- die Yahoo-Gruppe der Kometenbeobachter, eine Mailing-Liste

Wenn man Daten aus mehreren Quellen zusammenträgt, dann müssen Dopplungen entfernt werden. Viele Beobachter senden gleichzeitig an mehrere Datensammlungen.

Datenaufbereitung

Die Datenbasis ist normalerweise stark heterogen: Helligkeitsbestimmungen von erfahrenen Beobachtern stehen neben Anfängerdaten, die Himmelsgüte reicht von mäßig bis exzellent, der Komet kann – von verschiedenen Stellen der Erde aus beobachtet – ganz unterschiedliche Horizontabstände gehabt haben.

Wenn ausreichend viele Daten vorhanden sind, dann kann man erwägen, als unsicher eingestufte Messungen zu eliminieren.

IM DETAIL

Rechenbeispiel

Im Dezember des Jahres 2014 wird der Komet 15P/Finlay ein Perihel durchlaufen. Um die Helligkeit abzuschätzen, sollen visuelle Beobachtungen eines vergangenen Perihels herangezogen werden. Unter der Annahme, dass sich der Verlauf der Gasentwicklung nicht wesentlich geändert hat, wird daraus die Helligkeit zum Perihelzeitpunkt abgeschätzt werden.

Aus dem ICQ-Archiv stehen für das Jahr 2008 die nebenstehenden Messwerte zur Verfügung, welche im Wesentlichen nach dem Perihel am 22. Juni gewonnen wurden.

Die heliozentrischen Distanzen und Erdabstände wurden einem Planetariumsprogramm entnommen. Für die Auswertung werden die Kalenderdaten nicht benötigt. In ein Excel-Rechenblatt werden die heliozentrischen Abstände, die geozentrischen Magnituden und die Erdabstände in die Spalten A-C ohne Einheiten eingetragen. Alle Spalten sind als Zahl zu formatieren.

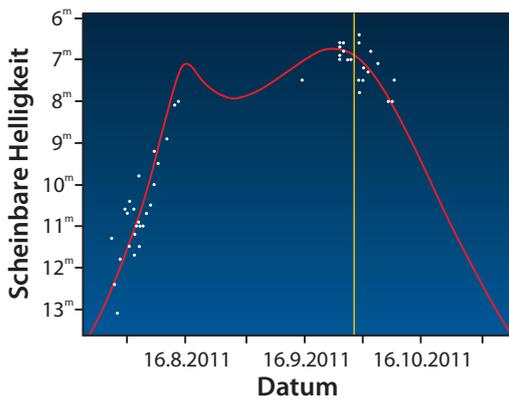
Mit Hilfe von Excel-Formeln werden in den benachbarten Spalten D und E der Logarithmus des Sonnenabstandes r und die heliozentrische Helligkeit ausgerechnet. Hierzu werden in der ersten Zeile die

Datum	geozentrische Helligkeit	Sonnenabstand r	Erdabstand Δ
15.6.	10, ^m 7	0,977AE	1.372AE
26.6.	10, ^m 1	0,972AE	1,424AE
27.7.	10, ^m 1	0,973AE	1,430AE
8.7.	9, ^m 7	0,997AE	1,493AE
13.7.	9, ^m 8	1,017AE	1,526AE
15.7.	9, ^m 4	1,025AE	1,538AE
2.8.	11, ^m 2	1,135AE	1,652AE
9.8.	10, ^m 9	1,189AE	1,693AE
6.9.	11, ^m 5	1,433AE	1,813AE
10.9.	12, ^m 2	1,472AE	1,823AE

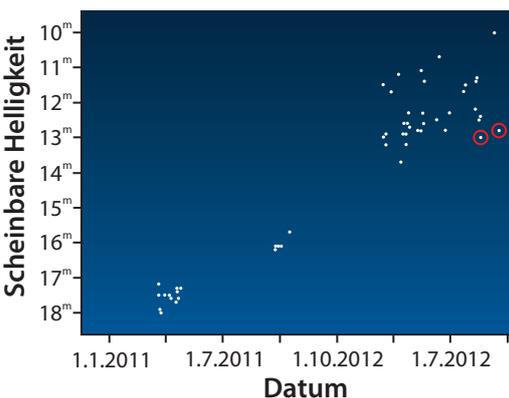
Formeln =LOG(A1) und =B1-5*LOG(C1) eingetragen. Die Formeln werden zeilenweise nach unten kopiert, woraus sich in den Spalten D und E die Werte für $\log(r)$ und m_H ergeben.

Auf diese Spalten wird jetzt die in Excel vorhandene Regressionsformel angewandt. Dazu werden in einem freien Bereich zwei nebeneinanderliegende Felder markiert und dort wird die Formel =RGP(E1:E10;D1:D10) eingegeben. Die Regression interpretiert

die erste angegebene Spalte als y-Achse und die zweite als x-Achse. Diese Eingabe muss unbedingt mit Strg-Umschalt-Enter abgeschlossen werden! Dann erscheinen in den beiden Feldern die Parameter der Geraden. Der zweite Wert (im Beispiel 9,228) ist die absolute Helligkeit (m_0), der erste Wert (im Beispiel 8,099) ist das 2,5-Fache des Aktivitätskoeffizienten $n=3,24$. Die Helligkeit des Kometen 15P lässt sich also mit folgender Formel beschreiben:



◀ Abb. 2: Helligkeitsprognose des Kometen 45P/Honda-Mrkos-Pajdusakova: Sie zeigt den raschen Abfall der Helligkeit ab Mitte Oktober 2011 an. Die daraus abgeleitete Prognose erleichtert die Vorbereitung auf Beobachtungen.

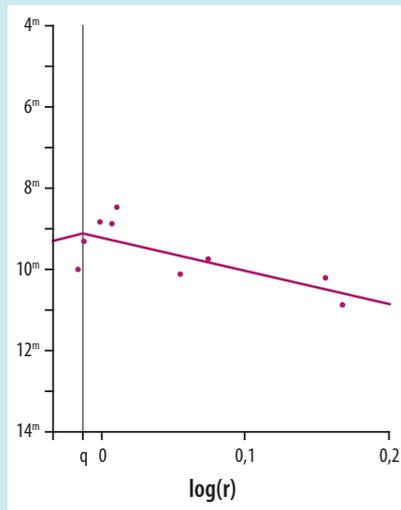


◀ Abb. 3: Ausreißer lassen sich im Diagramm per Augenmaß leicht identifizieren: Werte, die auffallend abseits der Masse der Bestimmungen liegen, sollten entfernt werden. Die Datenbasis kann auf diese Weise unaufwendig verbessert werden. Mathematische Verfahren, die Ähnliches leisten, sind kompliziert. Schätzungen, welche den Kometen heller einstufen als vom Großteil der Beobachter gesehen, sollten nur bei wirklich großer Helligkeitsdifferenz von der Auswertung ausgeschlossen werden. Oft zeigt eine exzellente Himmelsqualität Teile der äußeren Koma, welche den anderen Beobachtern entgangen waren. Die Schätzungen sind dann real und beruhen nicht auf Fehlern.

ren. Hierzu können verschiedene Kriterien herangezogen werden:

- die Erfahrung der Beobachter: Es ist relativ leicht zu ermitteln, welche Beobachter schon jahrelang Helligkeiten messen und welche Neulinge auf diesem Gebiet sind.
- die Himmelsgüte: Viele Beobachter geben die Himmelsqualität an, z.B. den schwächsten sichtbaren Stern. Außerdem kann man anhand von Standortdaten und Datum/Uhrzeit den Horizontabstand des Kometen zum Beobachtungszeitpunkt bestimmen.
- unplausible Einzelmessungen mathematisch entfernen: Bei dicht mit Messungen besetzten Tagen kann man die Standardabweichung bestimmen und außerhalb plausibler Grenzen liegende Werte ausschließen. Oftmals sind hierfür aber nicht genügend Daten vorhanden. In Zeitabschnitten langsamer Helligkeitsveränderung können auch die Daten mehrerer Tage zusammengefasst werden.

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.



▲ Verlauf der heliozentrischen Helligkeit für 15P/Finlay gemäß der Simulation.

$$m = 9^m 23 + 8,1 \log(r) + 5 \log(\Delta)$$

Für das Perihel am 27. Dezember 2014 hat der Komet die Werte $r=0,9759$ und $\Delta=1,4290$. Die Helligkeit wird gemäß der Formel dann etwa $9^m 9$ betragen.

- unplausible Werte nach Augenschein entfernen: Stark abseits vom offensichtlichen Kurvenverlauf liegende Werte werden nicht in die Auswertung eingeschlossen.

Datenverteilung

Wenn ein Komet während eines großen Bahnabschnittes beobachtet werden kann, dann ist die Lichtkurve unterschiedlich stark mit Helligkeitsschätzungen besetzt. Es kann vorkommen, dass zu den Zeiten großer Helligkeit mehrere Dutzend Messungen pro Tag eingehen. Die »Ränder« der Kurve hingegen sind schwach besetzt, möglicherweise mit nur einer Messung über mehrere Wochen.

Die Auswertverfahren werten ohne weitere Maßnahmen jeden der Messpunkte gleichermaßen. Dies ist nicht immer angemessen, auch wenn man berücksichtigt, dass sich helle Kometen sicherer bestimmen lassen als schwache. Es bietet sich in solchen Fällen an, Daten vor der Auswertung zusammenzufassen. Als praktikabel hat sich die tagewei-

se Mittelwertbildung herausgestellt. Dieser Schritt muss als letztes erfolgen. Alle anderen Datenverbesserungen müssen vorher erfolgen.

Modell der Helligkeitsentwicklung

Die Veränderung der Helligkeit bei Annäherung an die Sonne lässt sich nicht ohne weiteres physikalisch begründet modellieren. Es hat sich vielmehr eine empirisch ermittelte Formel durchgesetzt, welche die theoretische geozentrische Helligkeit m beschreibt. Sie ist für die meisten Kometen plausibel:

$$m = m_0 + 5 \log(\Delta) + 2,5 n \log(r)$$

Hierbei sind Δ der Erdbstand und r der Sonnenabstand des Kometen zum Beobachtungszeitpunkt. Die zunächst unbekannt Parameter m_0 (absolute Helligkeit) und n (Aktivitätsparameter) werden aus großen Mengen von Messdatentripeln (m , r , Δ) berechnet. Hierzu wird ein Verfahren benutzt, welches Carl Friedrich Gauß zur Bahnbestimmung von Planetoiden entwickelte: die Ausgleichsrechnung. Mit diesem Verfahren wird eine »bestmögliche« Kurve durch die Messwerte gelegt.

Modell für periodische Kometen

Nicht alle Kometen lassen sich zufriedenstellend mittels einer Abhängigkeit vom Sonnenabstand beschreiben. Vor allem periodische Kometen, die viele Umläufe hinter sich haben, können nicht gut abgebildet werden. In solchen Fällen kann versucht werden, ob eine Abhängigkeit vom Perihelzeitpunkt zu besseren Ergebnissen führt:

$$m = m_p + 5 \log(\Delta) + n' \delta t$$

Hierbei sind m_p die Perihelhelligkeit, n' der zeitbezogene Aktivitätsparameter und δt der zeitliche Abstand vom Perihel in Tagen, vor dem Perihel positiv und nach dem Perihel negativ zu zählen. Die Bestimmungsverfahren funktionieren analog: Statt des Logarithmus des Sonnenabstandes wird der zeitliche Abstand vom Perihel benutzt. Diese Formel kann aber nur in unmittelbarer Perihelnähe eines periodischen Kometen sinnvoll eingesetzt werden.

Beide Verfahren lassen sich abschnittsweise benutzen und sogar kombinieren. Es ist allgemein üblich, die Entwicklung vor und nach dem Perihel getrennt zu betrachten. Wenn ein Komet einen Helligkeitsausbruch erleidet, muss ab diesem Zeitpunkt in jedem Fall neu gerechnet werden. Das Aufteilen in Abschnitte ergibt natürlich eine bessere Annäherung des Mo-

dells an die Daten. Allerdings wird die Aussage über allgemeine Eigenschaften des Kometen erschwert. Aus diesem Grund sollte eine Unterteilung der Helligkeitskurve vermieden werden, wenn sich dies mit hinnehmbaren Zugeständnissen an die Abbildungsgüte vertreten lässt.

Rechnerische Bestimmung der Modellparameter

Zur Berechnung von m_0 und n wird eine lineare Ausgleichsrechnung benutzt, in welche die Wertepaare $(\log(r), M)$ eingehen: Es sind also zunächst die Logarithmen der Sonnenabstände und die heliozentrischen Helligkeiten zu bestimmen. Alle Statistikprogramme und viele Taschenrechner enthalten die Routinen zur Ausgleichsrechnung. Auch die Berechnung mit Excel ist auf einfache Weise möglich, hier kann der Logarithmus des Sonnenabstandes gleich spaltenweise bestimmt werden. Die Vorgehensweise wird an einem Beispiel erläutert (vgl. Kasten).

Standardapertur

Auswertungen haben gezeigt, dass die Helligkeitsschätzungen von der benutzten Teleskopgröße abhängen. Große Fernrohre unterschätzen die Helligkeit. Dieser Effekt ist bei Teleskopen mit zentraler Obstruktion stärker ausgeprägt. Es wird deshalb empfohlen, alle Beobachtungen mathematisch auf eine Standardapertur umzurechnen. Als Standard wurde eine Öffnung von 68mm festgelegt. Für Refraktoren/Ferngläser und Reflektoren wurden unterschiedliche Formeln ermittelt:

Refraktoren und Ferngläser:

$$m_{\text{korr}} = m_{\text{beob}} - 0^m 066 \cdot (D-6,8)$$

Für Reflektoren:

$$m_{\text{korr}} = m_{\text{beob}} - 0^m 019 \cdot (D-6,8)$$

Dabei ist D die Teleskopöffnung in Zentimetern. Diese Korrektur kann insbesondere bei diffusen Kometen in Erwägung gezogen werden.

SURFTIPPS



- Aktuelle Helligkeitsschätzungen
- Fachgruppe Kometen in der VdS
- Lateinamerikanische Beobachtergruppe
- Comet Observation Database
- Yahoo-Mailing-Liste

🔗 [Kurzlink: oc1m.de/03u1](http://kurzlink.oc1m.de/03u1)

Der Kometenjäger

Auf der Pirsch nach 1000 Schweifsternen

von Werner Hasubick

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.



Es gibt Kometenbeobachter, die suchen nach neuen Kometen, es gibt welche, die fotografieren die schönsten und es gibt noch einige, die möchten alle während des Jahres sichtbaren Schweifsterne nachweisen. Zur letzten Gruppe gehöre ich. Nachdem ich den Kometen West 1975 zu Beginn meiner Kometenbeobachterkarriere noch verpasst hatte, gab es in den nächsten Jahren viele spektakuläre Kometen zu sehen. Inzwischen habe ich mehrere hundert Kometen visuell, fotografisch und mit CCD-Technik beobachtet.

Die meisten Beobachtungen erfolgen mit dem 440mm-Teleskop der Volkssternwarte Buchloe (Ostallgäu). Im Lauf der Jahre wurde die Beobachtungsstrategie immer weiter verbessert, so dass ich derzeit über 100 Kometen pro Jahr beobachten kann. Meilensteine der letzten Jahre waren im Juli 2008 mein 500. Komet (C/2008 N1 (Holmes)) und am 14.5.2013 mit P/2013 EW90 (Tenagra) mein 750. Schweifstern. Daraus entwickelte sich die Idee, 1000 Kometen zu erreichen. Da es pro Jahr nur ca. 50 neue Kometen gibt und insgesamt 300 periodische Kometen, muss man versuchen, praktisch alle Schweifsterne pro Jahr zu beobachten. Auf meinem Beobachtungsprogramm stehen deshalb alle Kometen bis zur 20. Größe, die nördlich von -27° Deklination stehen.

CCD-Technik

Im Augenblick wird mit einer SBIG ST-9XE CCD-Kamera gearbeitet, die Belichtungszeiten betragen standardmäßig 20s ohne Guiding mit einer Sideres 85-Montierung. Je nach Helligkeit des Kometen werden Serien

◀ Abb. 1: Das Hauptinstrument der Sternwarte Buchloe, ein 16"-Newton, hat schon mehrere hundert Kometen gesehen. Dank der angeschlossenen CCD-Kamera sind Schweifsterne bis zu 21^m erreichbar.

bis zu 50 Aufnahmen erstellt. Bei helleren Kometen wurde auch schon mit Belichtungszeiten von unter 1s gearbeitet, dazu muss der Komet aber in Milchstraßennähe stehen, damit genügend Vergleichsterne vorhanden sind. Als Katalog wird der UCAC-4 genutzt.

Wenn man mit dem 440mm-Newton visuell beobachtet, sind Kometen bis ca. 15^m beobachtbar. Für die ST-9XE am gleichen Teleskop ist ein Komet mit 17. Größe schon hell und die CCD-Kamera »sieht« auch Kometen 18. Größe in 15° Höhe mit Dunst! Auch die Nähe des Mondes ist kein Hinderungsgrund für eine Beobachtung, so wurde Komet 181P/Shoemaker-Levy 6 am 26.11.2006 mit 17^m6 Helligkeit nur 6° vom sechs Tage alten Mond aufgenommen. Helle Kometen sind auch bei Vollmond beobachtbar.

Kometenmarathon

Durch die gute Grenzgröße dieser Instrumentenkombination sind immer sehr viele Kometen beobachtbar, in langen Winternächten ist ein Kometenmarathon mit ähnlicher Anzahl von Objekten wie beim Messiermarathon möglich. Der schwächste bisher beobachtete Komet war P/2007 T2 (Kowalski) mit 20^m9.

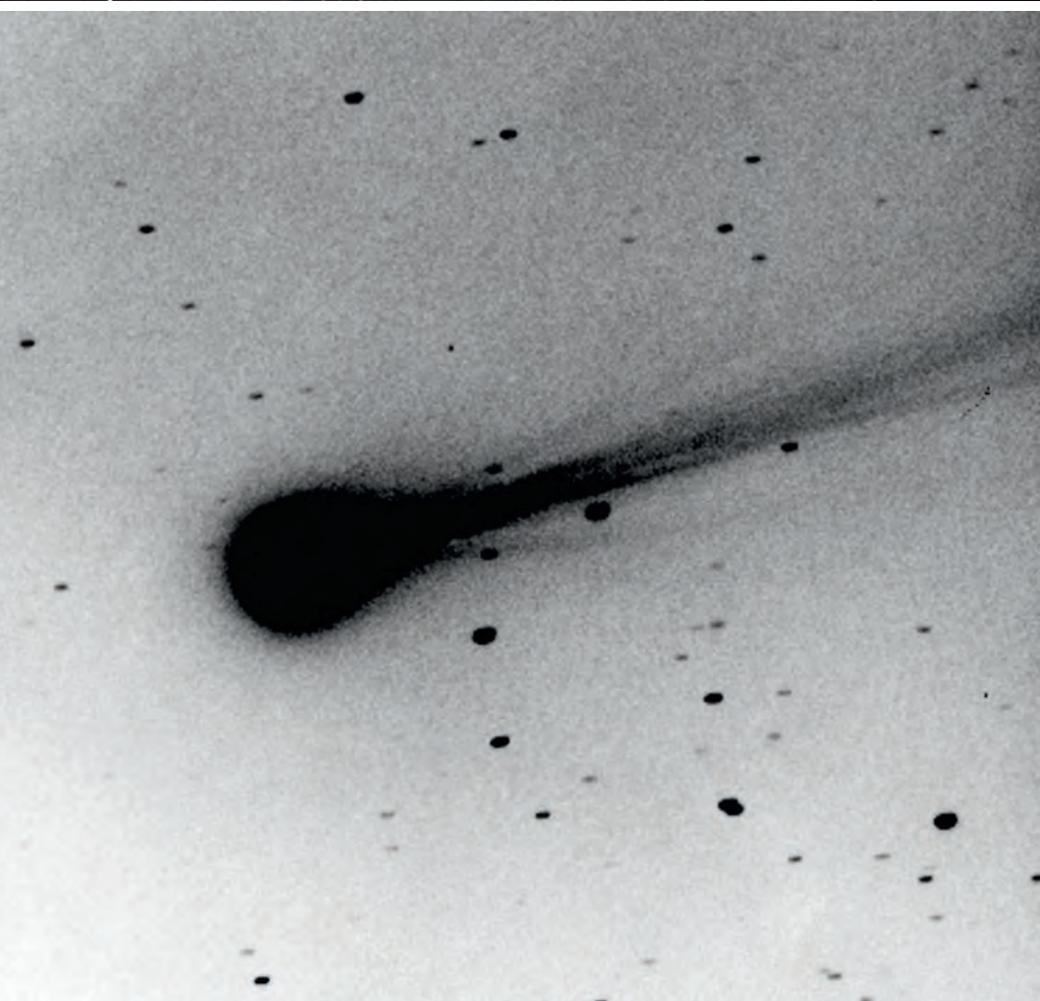
Unerlässlich sind genaue Listen, aus denen ersichtlich ist, welche Kometen

Kometensichtungen des Autors nach Technik

Kometenbeobachtung	1–100	101–250	251–500	501–750
visuell	73	92	26	13
fotografisch	80	13	5	2
CCD	–	77	243	249



◀ Abb. 2: Bildbeispiele des Autors: oben C/1996 B2 (Hyakutake) vom 15.4.1996, entstanden am 5"-SCT auf TP2415, und unten 45P/Honda-Mrkos-Pajdusakova vom 27.9.2011, entstanden am 16"-Newton mit SBIG ST-9XE.



beobachtbar sind und ob sie noch beobachtet werden müssen. Bei mitteleuropäischen Wetterbedingungen sollte man versuchen, möglichst jede Schönwetterperiode zu nutzen, um möglichst viele Kometen zu erreichen. Trotz des nicht sehr guten Wetters wurden 2013 allein 151 Kometen erfasst. In den vergangenen 13 Jahren wurden über 5500 Positionen von Kometen an das Minor Planet Center gemeldet.

Bei der jahrelangen Beobachtung fallen einige »Beobachtungsrekorde« an. So wurden am 28.2.2009 in einem Neun-Stunden-Marathon 37 Kometen in einer Nacht beobachtet (bei 14 weiteren gelang die Sichtung nicht). Als Nebeneffekt der systematischen Beobachtung gab es auch einige spezielle Ergebnisse, so die Wiederentdeckung von 139P/Väisälä-Oterma mit 19. Größe (erste Versuche 2005 und 2006, Erfolg im dritten Jahr am 12. und 14.8.2007). Am 21.10.2009 war ich einer von drei Amateuren, denen eine Aufnahme des Kometen 230P/2009 U6 LINEAR vor der eigentlichen Entdeckung gelang. Leider hatte ich den neuen Kometen nicht erkannt, der einige Tage später von LINEAR entdeckt wurde!

Alte Bekannte

Inzwischen habe ich zahlreiche Kometen mehrfach beobachtet: 29P/Schwassmann-Wachmann 1 wurde in 17 Oppositionen verfolgt, 2P/Encke in 8 Periheldurchgängen, 10P/Tempel 2, 19P/Borrelly und 46P/Wirtanen in jeweils 5 Periheldurchgängen. Einige Kometen sind während des ganzen Umlaufes, also auch im Aphel beobachtbar: 2P/Encke, 65P/Gunn, 74P/Smirnova-Chernykh, 158P/Kowal-LINEAR. Mir gelang auch schon einige Male die erste Beobachtung von Kometen nach ihrem Apheldurchgang, so z.B. bei 2P/Encke am 15.8.2009.

Für die ersten 250 Kometen habe ich 26 Jahre benötigt, für die jeweils nächsten 250 Kometen 4 Jahre und 8 Mona-

► Abb. 3: Bildbeispiele des Autors: oben C/2012 X1 (LINEAR) vom 24.2.2014 und unten C/2013 R1 (Lovejoy) mit Larson-Sekanina-Filter vom 14.12.2013. Beide Aufnahmen entstanden am 16"-Newton mit SBIG ST-9XE.

te. Wenn dieser Trend anhält, könnte es im Februar 2018 mit dem 1000. Kometen klappen, vielleicht schaffe ich es sogar bis zu meinem 40-jährigen Kometenbeobachterjubiläum im Oktober 2017. Von den im Augenblick 296 nummerierten periodischen Kometen wurden von mir schon 253 beobachtet. Aktuell stehe ich bei 804 beobachteten Kometen in 1003 Periheldurchgängen, davon habe ich 682 astrometriert. Wenn man die Statistiken (vgl. Surfipps) betrachtet, sieht man, dass außer SOHO nur eine japanische Beobachtungsstation (672 Gesei) mehr Kometen astrometrisch beobachtet hat als meine Station 215 Buchloe.

Fazit

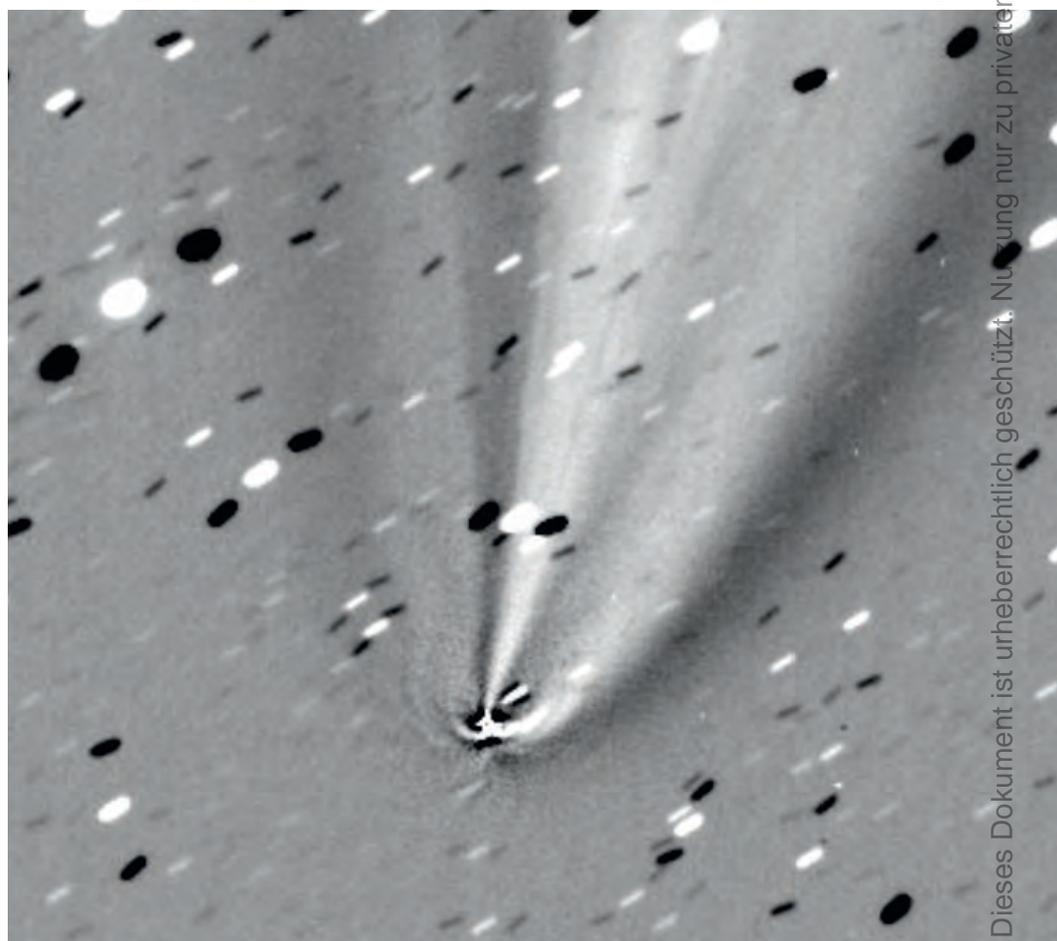
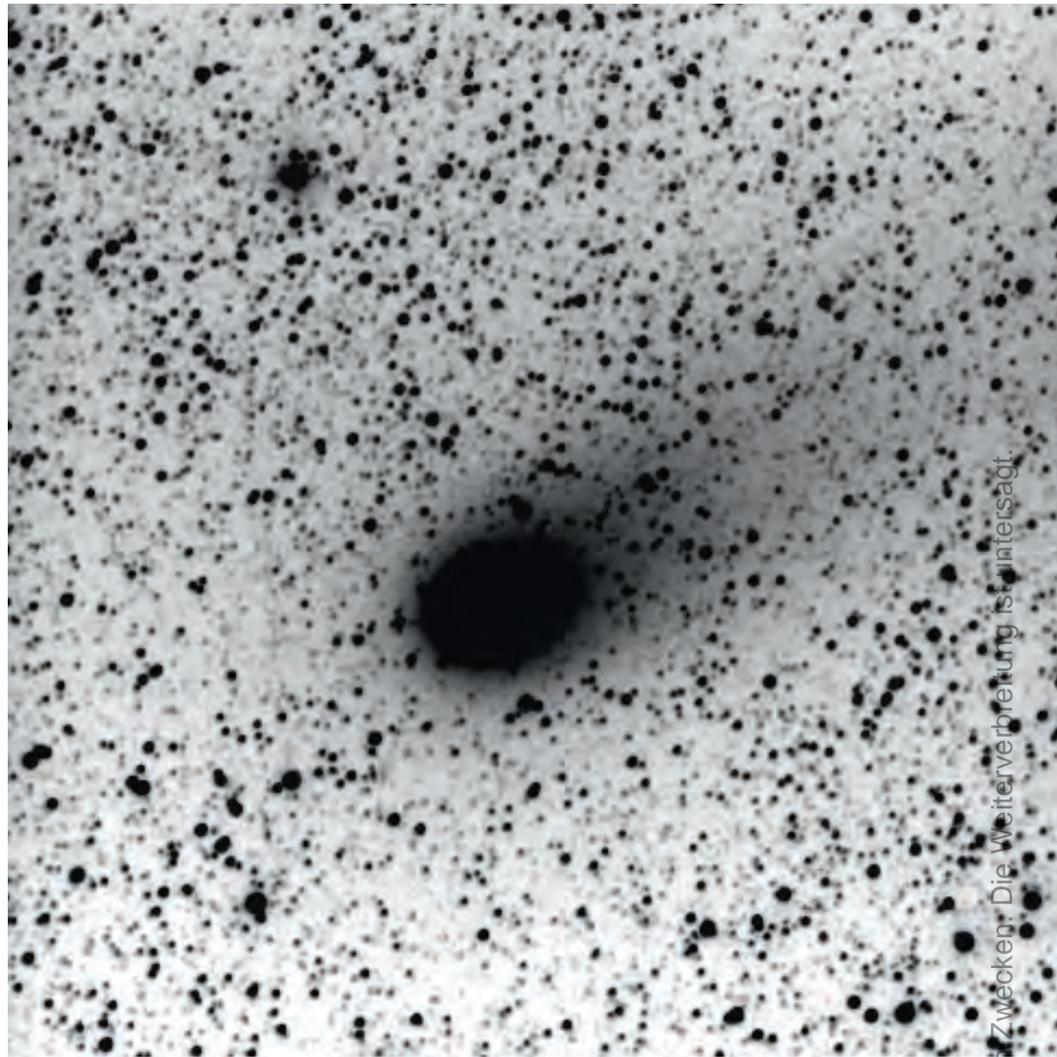
Wenn man möglichst jede Schönwetterlücke nützt, hoch motiviert ist und mit der richtigen Beobachtungsstrategie herangeht, kann man auch von Mitteleuropa aus sehr viele Kometen beobachten. Um mein Ziel etwas schneller zu erreichen, könnte ich die etwa fünf Kometen, die pro Jahr von uns nicht erreichbar sind (zu sonnennah, zu weit südlich oder zu schwach), mit einem Remote-Teleskop beobachten, aber im Augenblick macht mir das direkte Beobachten der Kometen in der heimischen Sternwarte deutlich mehr Spaß.

SURFTIPPS



- Statistik der Kometenbeobachtungen
- Ranking von Kometenbeobachtungen

🔗 [Kurzlink: oc1m.de/03hz](https://oc1m.de/03hz)



Jagd auf ein Phantom

Eine Fotoexkursion auf der Suche nach ISONs Überresten

von Stefan Binnewies und Rainer Sparenberg

28.11.2013,
6:30 MEZ

29.11.2013,
6:30 MEZ

▲ Abb. 1: **So hätte es aussehen können:** Blick aus dem Flugzeug am 29.11.2013 Richtung Sonnenaufgang mit eingeblendeter ISON-Bahn. Die Aufnahme gelang um 8:15 MEZ mit einer Canon EOS 6D und einer Aufnahmebrennweite von 170mm. Eine grobe Abschätzung ergibt, dass ein Objekt heller als -4^m in der Kometenposition hätte nachgewiesen werden können.

Viele astronomische Ereignisse zeichnen sich durch ihre exakte Vorhersagbarkeit aus, nur das Wetter kann dann noch eine sorgsam geplante Beobachtung verhindern. Kometen allerdings haben sich dieser Vorhersagbarkeit immer wieder entzogen. C/2012 S1 (ISON) war nach dem Periheldurchgang am 28. November 2013 sogar ein Totalausfall. Was tun, wenn man vorhatte, ISON von der kanarischen Insel La Palma aus zu beobachten?

Freitag, 29. November 2013

Abflug in Düsseldorf um kurz nach 6:00 Uhr. In der Nacht zuvor hatte ISON noch vor dem Perihel seinen Geist ausgehaucht. Als Schatten seiner selbst und sicher weit hinter den vorsichtigsten Helligkeitsprognosen liegend,

bildete er dennoch einen aufgefächerten Schweif auf den Bildern des Solar and Heliospheric Observatory (SOHO). Das lies uns hoffen, schließlich hatten wir einen Fensterplatz in 11500m Höhe, einen Blick zum Sonnenaufgang, ordentlich Kimmtiefe und einen perfekt klaren Himmel bis zum 500km entfernten Horizont. Mehr als 100 Bilder mit unterschiedlichen Brennweiten und Belichtungszeiten, beginnend 60 Minuten vor Sonnenaufgang, entstanden jetzt. Doch trotz späterer Bildbearbeitung (Überlagerung, Kontrastanhebung, unscharfe Maskierung): ISON hatten wir nicht erwischt.

Samstag, 30. November 2013

Obwohl die Wetteraussichten eher schlecht waren, klingelte gegen 3:30 Uhr Ortszeit der

Wecker. Ein spärliches Frühstück musste reichen und los ging es, um auf dem Berg nach möglichen Wolkenlücken und ISON Ausschau zu halten. Nach knapp einer Stunde standen wir auf der Straße im dichten Nebel direkt neben dem Observatorium am Roque de los Muchachos. Nur ab und zu zeigte sich Jupiter als schemenhaftes Licht durch die Wolkendecke und wir mussten einsehen, dass wir an diesem Tag den Kometen nicht mehr würden beobachten können.

Nach dem verspäteten zweiten Frühstück an diesem Tag regnete es stundenweise, Wolken aus Südwesten stauten sich an den Inselbergen und die Wetteraussichten versprachen auch für die kommenden Tage nichts Gutes. An so einem Abend fällt die Entscheidung leicht, die angemietete Finca nahe Puntagorda in Richtung Restaurant zu verlassen – ge-



▲ Abb. 2: Späte Abenddämmerung mit Venus, Zodiakallicht und Milchstraße von La Palma aus beobachtet. Kombination mehrerer Aufnahmen mit einer Canon EOS 6D und 14mm-Weitwinkelobjektiv bei f/4,0. ISO-Zahlen zwischen 640 und 3200, Belichtungszeiten zwischen 10s und 120s am 2.12.2013. Ein Nachweis des Kometen ISON gelang auch mit dieser Aufnahme leider nicht.

sagt, getan und nicht bereut, auch als nach dem Essen der Himmel ganz unerwartet für knapp 90 Minuten aufriss und erste Weitwinkelaufnahmen vom Stativ aus für spätere Zeitrafferfilme gelangen.

Sonntag, 1. Dezember 2013

Die Wetterprognose für die neue Woche verfestigte sich, ab Dienstag sollte es besser werden. Nun aber klatschte der Regen gegen die Fenster, Nebelschwaden und Novembergrau, sehr nass, aber mild bei 18°C. Dann am späten Nachmittag erste Wolkenlücken. Das kannten wir schon vom Vortag und erneut gab es nach dem Sonnenuntergang eine gute Stunde lang einen klaren Himmel – entgegen jeder Prognose der einschlägigen meteorologischen Vorhersageseiten. Zusätzlich kon-

trollierten wir die Wetterlage in Höhe des Observatoriums mit einer dort aufgestellten Webcam, die im Internet ein Bild von der Umgebung veröffentlichte. Leider mussten wir fast immer feststellen, dass auf dem Berg eine ähnliche Wetterlage herrschte wie in der Nähe der Küste.

Montag, 2. Dezember 2013

Heute ging es ganz hinauf auf den Roque delos Muchachos, 2423m hoch, der höchste Punkt der Insel. Durch die tagsüber geöffnete Schranke fuhren wir zunächst auf das Gelände der Sternwarte, legten einen Foto-stopp an den MAGIC-Teleskopen ein, um dann am Gipfel zwischen Nebelschwaden und Sonnenschein wunderschöne Glorien, Nebelbögen und Brockengespenster in stän-

dig wechselnder Ausprägung zu beobachten. Den Sonnenuntergang verpassten wir im inzwischen wieder einsetzenden Nieselregen, doch kaum lag die Gipfelregion hinter uns, riss es auf, vergleichbar einem Blick unter dem Regenschirm auf plötzlich wolkenlosen Himmel. Jetzt musste es schnell gehen, Milchstraße, Zodiakallicht und eventuelle Überbleibsel von ISON – Reste seines Staubschweifs, die von La Palma aus besonders steil am Abendhimmel über dem Horizont stehen würden – waren unser Ziel. Doch für den Kometen hatte es wieder nicht gereicht, trotz später aufsummierter Bilder ganz unterschiedlicher Belichtungszeit, um bis knapp über den Horizont am aufgehellten Abendhimmel Strukturen nachweisen zu können. Dass wir schon 40 Minuten später erneut im Nebel standen, versteht sich von



▲ Abb. 3: Beobachtungsstandort für Abb. 2 mit vorbereiteter Montierung, darauf eine SBIG STL-11000M CCD-Kamera und ein 200mm-Teleobjektiv (Ausrüstung für Abb. 4).

► Abb. 4: Komet Lovejoy am 5.12.2013, L-H α -G-B-Komposit, je Kanal 3 \times 1min belichtet durch ein 200mm-Teleobjektiv mittels SBIG STL-11000M CCD-Kamera. Die H α -Aufnahmen waren ein Versehen, es hätten besser R-Kanal-Bilder sein sollen. Die rechte Bildhälfte zeigt nur den invertierten Blau-Kanal. Einzelne Streamer im Schweif, vor allem aber ein Schweifabriss (oben rechts), kommen so etwas besser zu Geltung.

selbst. Noch bis 23:00 Uhr haben wir erfolglos abgewartet und dann frustriert die Segel gestrichen.

Dienstag, 3. Dezember 2013

Heute war es ähnlich wie am Vortag, aber die Wolkenlücken zeigten sich schon am Mittag. Der Himmel über dem Sternwartengelände war zunächst frei, später zog er sich kurz zu, um dann einem prächtigen Sonnenuntergang und einer klaren Nacht den Weg freizugeben. Das sah wirklich gut aus (Abb. 3), aber der Wetterbericht war anderer Meinung – und er sollte Recht behalten. Immerhin, 90 Minuten lang präsentierete sich der Himmel über La Palma von seiner

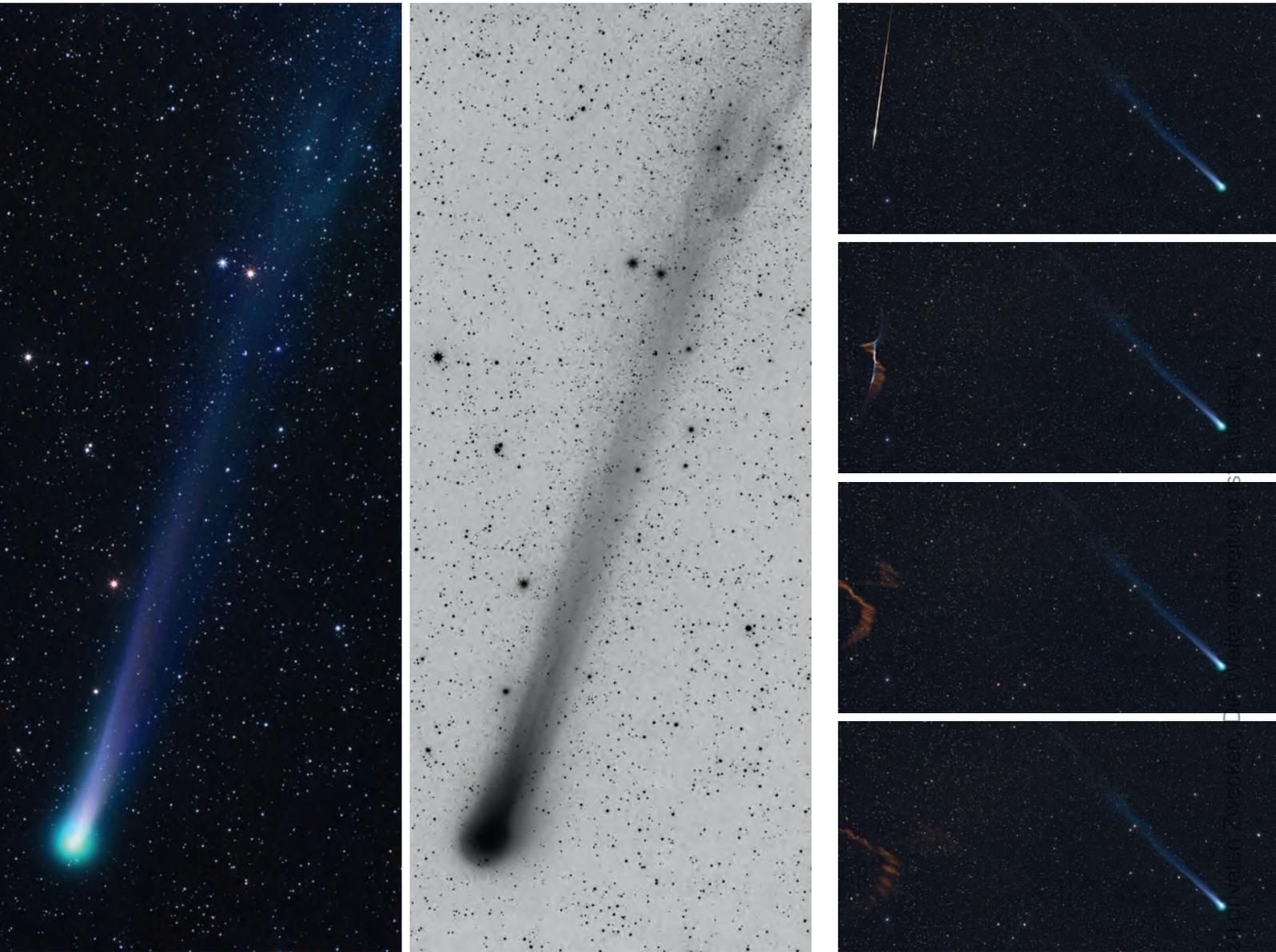
schönsten Seite. Venus versank hinter einer Haufenwolke weit draußen auf dem Atlantik, der Helixnebel neben der Zodiakallicht-Pyramide war im Fernglas ein leichtes Objekt – doch dann war auch schon wieder der Insel-Nebel da – um zu bleiben. Um Mitternacht gab es in der Finca einen guten Rotwein, die kommende Nacht sollte es richten. Zu dieser Hoffnung passte dann endlich auch die Wetterprognose.

Mittwoch, 4. Dezember 2013

Nur bis knapp oberhalb der Baumgrenze ging es diesmal, den Nebelschwaden im Gipfelbereich der Insel wollten wir so ausweichen. Und tatsächlich, die Nacht blieb bis

auf einzelne Wolken gegen Morgen komplett klar. Weitwinklige Aufnahmen auf zwei iOptron SkyTracker-Montierungen entlang der Milchstraße vom Adler bis zu Vela entstanden, Zeitrastersequenzen des intensiven Airglows, Kugelpanoramen des ganzen Nachthimmels und endlich auch CCD-Aufnahmen zweier prominenter winterlicher Nebelregionen gelangten uns bis etwa 5:00 Uhr Ortszeit, dann folgte das ISON-Notprogramm.

Komet C/2013 R1 (Lovejoy), immerhin mit dem bloßen Auge sichtbar, leider deutlich tiefer im Nordosten stehend als von Deutschland aus, wurde unser Ziel. Nachdem er eingestellt war und automatisch belichtet wurde, starteten wir einen letzten ISON-Versuch



► Abb. 5: Komet-Lovejoy-Aufnahmesequenz vom 5.12.2013 über einen Zeitraum von 4 Minuten, jeweils 1min belichtet ab 6:35 MEZ mittels Canon EOS 600Da durch ein 60mm-Makroobjektiv bei f/4,0 (ISO 1600). Am linken Bildrand leuchtete zufällig ein Meteor auf, dessen Rauchspur, bizarr verweht, in der Hochatmosphäre noch bis zum Abbruch der Sequenz um 7:16 MEZ auf den Bildern nachweisbar blieb.

Richtung Osten, tief am Horizont hinein in die langsam einsetzende Morgendämmerung – und erneut vergeblich. Ganz anders Lovejoy, je höher der Komet am Himmel stieg, desto auffälliger wurde er im Fernglas. Etwa 5° Schweiflänge konnten visuell erfasst werden. Die CCD-Aufnahme offenbarte einzelne Strukturen im Gasschweif und einen deutlichen Schweifabriss (Abb. 4).

Bei soviel Wetterpech hatte Urania ganz zum Schluss doch noch ein Einsehen mit uns und schickte einen hellen Meteor mit anschließend in der Hochatmosphäre verwehender »Rauchwolke« direkt neben Lovejoy platziert auf unseren Kamerachip (Abb.5) – ein toller Abschluss einer erfolgreichen La-Palma-Nacht.

Donnerstag, 4.Dezember 2013

Die bisher einzige klare Nacht war gerade vorbei, die Ausrüstung im Wagen verpackt und leider auch die Auto-Batterie komplett leer. Anschließen auf einer unebenen abschüssigen Piste, das auch noch rückwärts – doch bevor der Wagen die Böschung abrutschen konnte, verhinderte gerade noch ein Strauch das Schlimmste. Nun hingen wir fest und zu zweit war ein Fortkommen unmöglich. Glücklicherweise kam ein Kleinbus mit drei spanischen Angestellten der Sternwarte auf der nahen Asphaltstraße vorbei. Gemeinsam zogen wir den Wagen zurück auf die Piste – der Rest war Routine – an dieser Stelle herzlichen Dank an die Mitarbeiter des IAC.

Freitag, 5.Dezember 2013

Abflugtag bei tiefblauem Himmel und 24°C am Flughafen – ISON und das La-Palma-Wetter haben uns diesmal nichts geschenkt – dankbar sind wir dennoch für eine wunderschöne und unerwartet erholsame Woche, bevor wir 4,5 Stunden später in den ersten Schnee über NRW eintauchen mussten.

Kometenentdeckung in Teamarbeit

Der Komet P/2014 C1
(TOTAS)

von Matthias Busch



▲ Abb. 1: Mit diesem Teleskop gelang die Entdeckung: das Optical Ground Station Telescope auf Teneriffa. Im Hintergrund erkennt man den Gipfel des Teide.

Eigentlich fing alles auf der Starkenburg-Sternwarte im südhessischen Heppenheim an. Seit 1995 hatte sich dort ein Team der Kleinplanetenbeobachtung verschrieben. Hauptsächlich verfolgten wir in der Anfangszeit Objekte des KSO-ARI-Surveys (2m-Schmidt-Teleskop in Tautenburg). Dabei fanden wir auch den einen oder anderen neuen Kleinplaneten, über 50 sind es inzwischen geworden. Später führten wir auch Folgebeobachtungen von Objekten auf der NEO Confirmation Page des Minor Planet Center durch – eine spannende Sache, ging es doch hier immer um Bestätigung und Verfolgung von neu entdeckten erdnahen Kleinplaneten.



▲ Abb. 2: Das 1000/4500mm-Teleskop auf englischer Montierung.

Wir wollten jedoch selbst etwas Neues entdecken. Ideen hatten wir viele, wie man nach Kleinplaneten und Kometen suchen könnte. So kam auch bald der Vorschlag auf, einen »Kometensucher« in Form eines Kastens auf das Dach der Sternwarte zu bauen, der morgens vollautomatisch Richtung Osten schaut und den Morgenhimmel abgrast. Dieser ist allerdings nie wirklich fertig geworden...

Dann überlegten wir uns, wie wir mit unserem Hauptteleskop (450/1980mm-Newton) bzw. mit einer aufgesetzten Flatfield-Kamera (190/760mm) einen richtigen Survey aufsetzen könnten. Wir teilten den ganzen Himmel von Süd- bis Nordpol in Deklinationskreise ein, die von der Höhe her einem Gesichtsfeld entsprachen. 25 Felder wurden zu einer Survey-Region zusammengefasst, jedes Feld und jede Region hatte eine eigene Nummer.

Ich schrieb ein Programm, das vollautomatisch eine ganze Himmelsregion beobachten konnte. Es steuerte über die ASCOM-Schnittstelle gleichzeitig sowohl Kamera als auch Teleskop, und auch für die Kuppelsteuerung wurde eine Lösung gefunden.

Eigene Durchmusterung

Der »Starkenburg Observatory Heppenheim Asteroid Survey« (SOHAS) war geboren. Mit-

wirkende waren damals vor allem Reiner Stoss, Erwin Schwab, Felix Hormuth und in Köln Gido Weselowski, der mit seinem privaten Gerät ebenfalls mitmachte.

Ich erstellte nach und nach ein weiteres Programm, das die Auswertung einer kompletten Region übernahm. Es zeigt Jahr, Monat, Nacht, Region und Feld an und die Aufnahmen können geblinkt und manuell ausgewertet werden. Um den Überblick zu behalten, entwarf ich eine Datenbank, in der sämtliche Informationen als einzelne Objekte abgespeichert sind, sei es nun eine Nacht, eine Region, ein Feld, ein einzelnes Bild oder ein Kleinplanet. Alle Objekte hängen per Datenbank-Link zusammen, so hat z.B. eine Nacht mehrere Regionen, eine Region mehrere Felder, ein Feld mehrere Bilder usw.

Auf Knopfdruck kann diese Software dann auch die Aufnahmen lösen, d.h. die genaue Position und Verzerrung der Aufnahme bestimmen, und aus geeigneter Kombination eine Liste sich scheinbar bewegender Objekte erstellen. Diese werden mit den bereits bekannten Kleinplaneten abgeglichen und ihnen zugeordnet. Für die nicht identifizierbaren Objekte, die übrig bleiben, wurden kleine Vorschau-Bildchen und eine animierte gif-Datei erzeugt und auf die SOHAS-Webseite hochgeladen. Dort konnten

wir sie dann auch aus der Ferne von zuhause im Browser begutachten und per Knopfdruck bestätigen oder verwerfen. Einige Sternwartenmitglieder fanden das spannend und machten mit, nach und nach wuchs das Team deutschlandweit und später auch grenzübergreifend!

Chance auf Teneriffa

Das Programm lief ganz gut an, wir beobachteten viele Testregionen und entdeckten sogar den einen oder anderen Kleinplaneten. Doch das Wetter in Deutschland ist einfach zu schlecht, um an solch einem Programm längerfristig Spaß zu haben. Das war der Hauptgrund, warum SOHAS nie richtig durchstartete.

Im September 2009 bekamen wir die seltene Chance, fünf Nächte mit dem ESA-Teleskop auf Teneriffa zu beobachten. Die Optical Ground Station (OGS) gehört zum Teide-Observatorium auf 2400m Meereshöhe. Es handelt sich um einen 1m-Spiegel mit einer stickstoffgekühlten Profi-CCD-Kamera. Ursprünglich gebaut wurde die Station, um optische Kommunikation mit Satelliten zu testen. Später wurde sie zusätzlich auch zur Verfolgung und Kartierung von Weltraumschrott, aber auch für astronomische Zwecke verwendet.



▲ Abb. 3: Verwendet wurde eine professionelle CCD-Kamera – gekühlt mit Stickstoff.

Daten-Tsunami

Eiligst schrieb ich also meine SOHAS-Steuer- software so um, dass sie, statt live Teleskop und Kamera zu steuern, eine Datei in genau dem Format generiert, mit dem die OGS gesteuert werden kann. Pro Survey-Region wird eine Datei erzeugt, in der vereinfacht ausgedrückt die Koordinaten stehen, die das Teleskop ansteuern soll, sowie die Belichtungszeiten für die Kamera. Diese Datei mussten wir dann im Kontrollraum nur noch in den Computer füttern und das Teleskop erzeugte die Aufnahmen auf dem Chip. Zuvor füllten wir in der Dämmerung den flüssigen Stickstoff der Kamera auf und erstellten die Kalibrationsaufnahmen (Bias und Flatfield). Aus SOHAS wurde also TOTAS – Teide Observatory Tenerife Asteroid Survey.

Die Auswertung ging noch manuell vonstatten – Rainer Kresken und ich saßen gemütlich bei Ziegenkäse und Cerveza in der Wohnküche der Kuppel und blinkten den auf uns einschwappenden Daten-Tsunami von Hand mit Astrometrica. Das war – gelinde gesagt – absolutes Chaos bei dieser Datenmenge. Wir versuchten irgendwie mit einem

Mix aus Excel-Dateien und Zuruf hinterherzukommen – ziemlich aussichtslos. Das Teleskop produzierte immer mehr und mehr Daten. Von den fünf Nächten hatte zwar eine Nacht feinen Wüstensand aus der Sahara in der Luft, eine zweite fiel wegen Wolken komplett aus, trotzdem entdeckten wir auf diese Art und Weise 88 Kleinplaneten – mehr als in 15 Jahren auf der Starkenburg-Sternwarte! Selbst auf dem Heimflug blinkte ich noch OGS-Aufnahmen. Natürlich musste ich der interessierten Dame neben mir erklären, was denn das für Punkte auf dem Bildschirm sind und was ich da so mache...

Regelmäßige Surveys

Daher passte ich in den folgenden Wochen auch meine Auswertungssoftware an das OGS-Teleskop an und setzte eine neue Datenbank im Internet sowie eine Webseite auf, die auf diese Datenbank zugreift. Das SOHAS-Prinzip blieb gleich: Das TOTAS-Team bekommt während der Auswertung die fraglichen Kandidaten vorgesetzt und bestätigt oder verwirft sie. Inzwischen lade ich sogar die kompletten Bilder hoch – das

Team kann selbst blinken und diejenigen Objekte entdecken, die von der Software nicht gefunden wurden.

Detlef Koschny, der bei der ESA das Projekt SSA-NEO (Überwachung des erdnahen Raums nach Kleinplaneten) leitet, wurde auf TOTAS aufmerksam – seitdem darf ich mit dem Team regelmäßig bei den SSA-NEO-Beobachtungen, die jeweils vier Nächte alle vier Wochen umfassen, mitwirken. Das macht einerseits großen Spaß und bringt andererseits auch Survey-Erfahrung mit in diese Beobachtungsläufe. Seitdem gab es 100 Beobachtungsnächte und 238 Suchregionen, in denen TOTAS über 35000 Kleinplaneten vermessen hat. Über 7000 Kandidaten für neue Kleinplaneten resultierten in mehr als 1500 vom MPC vergebenen neuen Bezeichnungen. Zwei weitere Male (2010 und 2011) waren wir auch vor Ort in Teneriffa, einmal wirkte Hartwig Lüthen aus Hamburg mit.

Komet TOTAS

Einige neue Near Earth Objects gingen uns auch ins Netz, die Krönung war allerdings am



▲ Abb. 4: Viel Zeit erforderte die Auswertung der Aufnahmen am Computer.

1. Februar 2014 die Entdeckung des Kometen P/2014 C1 (TOTAS). Der Vorschlag, testweise auch einmal recht nahe an der Sonne zu suchen, kam von Detlef Koschny und erwies sich als Volltreffer. So belichteten wir eine Region am extremen Morgenhimmel von 5:30 bis 6:30 UT. Nachmittags um 14:33 UT fand mein Rechner bei der automatischen Auswertung diesen Kometen im Sonnenabstand von nur 68° und bezeichnete ihn mit »M182384«.

20 Mitglieder des TOTAS-Teams wirkten bei der Auswertung dieses Beobachtungslaufs mit – der 17-jährige Schüler Rafal Reszelewski aus Polen war der Glückliche, der dieses Objekt vorgesetzt bekam. Er erkannte sofort die Koma und den kleinen Schweif, schlug Alarm und ich sandte daraufhin eine Mail zum MPC. Unter unserer vorläufigen Bezeichnung OGS6867 landete er auf der NEO Confirmation Page sowie der Possible Comet Confirmation Page.

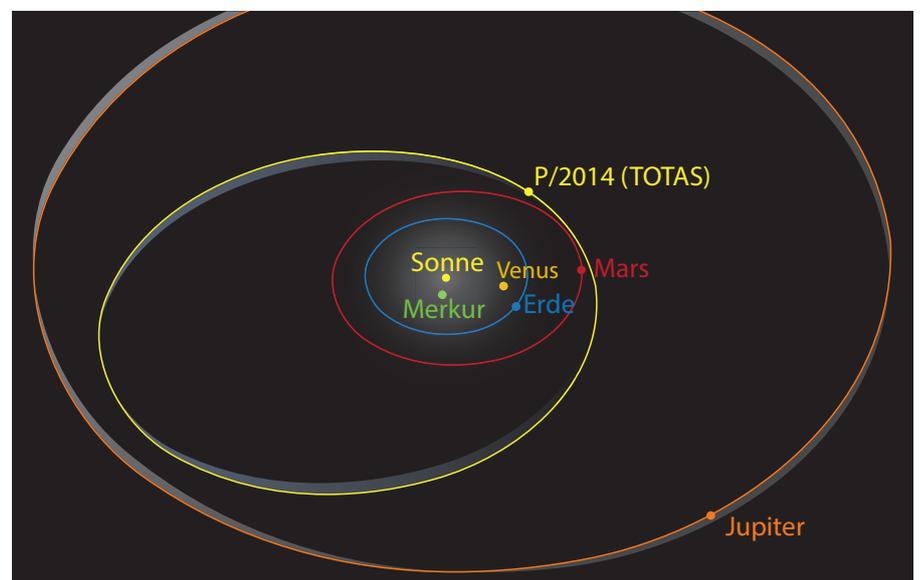
► Abb. 5: Die Bahn des neu entdeckten Kometen P/2014 C1 (TOTAS) – Stellung der Planeten und des Kometen zum Zeitpunkt der Entdeckung am 1. Februar 2014, 6:00 UT.

Acht Sternwarten rund um den Globus verfolgten ihn und bestätigten das kometare Aussehen, so wurde schließlich am 4. Februar im Minor Planet Electronic Circular (MPEC) 2014-C11 Komet P/2014 C1 (TOTAS) bekannt gegeben, was natürlich bei allen helle Begeisterung auslöste. Ich schlug absichtlich den Namen des Projekts vor, um die Teamarbeit hervorzuheben.

🔍 SURFTIPPS

- SOHAS
- TOTAS
- Entdeckungs-MPEC

🔗 [Kurzlink: oc1m.de/03zc](https://oc1m.de/03zc)



Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

Der erfolgreichste Kometenentdecker

Ein Interview mit Robert McNaught

von Daniel Fischer

R. McNaught

▲ Abb. 1: Er war wohl seine spektakulärste Entdeckung: der Komet C/2006 P1 (McNaught), von ihm selbst aufgenommen, über den Warrumbungles

In der ewigen Bestenliste der Kometenentdecker steht er einsam an der Spitze: Mit 82 Kometen, die ihm persönlich zugeschrieben werden, darunter 70 als Alleinentdecker und wiederum 26 davon periodisch, ist der in Schottland geborene Robert H. McNaught der erfolgreichste Kometenentdecker weltweit. In den letzten fünfzehn Jahren war McNaughts Name mit dem Siding Spring Survey verbunden, einer intensiven Kleinplaneten- und Kometensuche in Australien. Deren Finanzierung lief im vergangenen Jahr aus und so kam McNaughts Rekordserie mangels Unterstützung im eigenen Land zu einem abrupten Ende.

interstellarum: Herr McNaught, Sie sind der mit Abstand erfolgreichste Kometenentdecker aller Zeiten – wie ist das gekommen?

Robert McNaught: Das fing alles mit dem Großen Kometen Bennett im Jahre 1970 an: Seit ich den sah, wollte ich auch einen Kometen entdecken. Ich legte mehrere Aktenordner mit Informationen über Kometenentdecker und ihre Techniken an und verbrachte dann mehrere hundert Stunden mit visueller Su-

che: mit einem 20×120-Fernglas und einem 320mm-Reflektor. Meinen ersten Kometen, C/1987 U3, entdeckte ich allerdings bei einer fotografischen Himmelsdurchmusterung mit einem 85mm-Objektiv und Tri-X-Film.

interstellarum: Alle weiteren Kometenentdeckungen waren dann aber professioneller Natur, und Sie sind weit herumgekommen. Wikipedia nennt Sie einen »schottisch-australischen Astronomen« – kann man das so sagen?

Robert McNaught: Mein erster Job war 1973 oder 1974 auf dem Mauna Kea, als Site-Tester für ein geplantes europäisches Northern Hemisphere Observatory (das später auf der Kanareninsel La Palma gebaut wurde). Nach dem Studium arbeitete ich an der University of Aston im englischen Birmingham als Satellitenbeobachter für deren Earth Satellite Research Unit. Das brachte mich nach Siding Spring in Australien, wo eines ihrer Teleskope stand. Ich war dort von 1984



am 20. Januar 2007.

bis 1990 beschäftigt und blieb anschließend dort: erst 1990 bis 1996 für die Kleinplanetensuche AANEAS, dann 1998 bis 2013 für den Siding Spring Survey. Ja, man kann mich einen »Scottish Australian« nennen.

interstellarum: Unter den 44 langperiodischen Kometen, die Sie gefunden haben, sticht C/2006 P1 heraus, der letzte unbestrittene Große Komet. Waren bereits die Umstände seiner Entdeckung ungewöhnlich, oder wann wurde Ihnen zum ersten Mal klar, dass er etwas Besonderes war?

Robert McNaught: Das einzig Ungewöhnliche war, dass ich nahe Vollmond beobachtete, wenn unsere Himmelsdurchmusterung normalerweise ruhte. Ich glaube, es dauerte drei Tage, bis ich überzeugt war, dass er eine geringe Periheldistanz hatte. Später kam zwar ein IAU-Zirkular heraus, in dem Brian Mars-



▲ Abb. 2: Robert McNaught vor dem »Uppsala-Teleskop« des Siding Spring Observatory, mit dem er viele seiner Kometen entdeckte.

den [vom Minor Planet Center, –Red] ein viel größeres Perihel angab, aber er hatte eine viel geringere Qualität der Astrometrie angenommen, als wir sie mit dem Uppsala-Teleskop anstrebten. Für den kurzen, schon vorliegenden Bahnbogen war ihm wohl eine geringe Periheldistanz unvernünftig vorgekommen.

interstellarum: C/2006 P1 (McNaught) entfaltete seine volle Pracht erst, nachdem er an den Südhimmel gezogen war – und Sie waren einer seiner bekanntesten Fotografen: Wie war »Ihr« Komet, und haben die Australier davon Notiz genommen?

Robert McNaught: Obwohl ich Hale-Bopp, Hyakutake und Halley optimal gesehen hatte, wurde ich schlicht umgehauen. Noch eine Woche vor dem Perihel, glaube ich, erwartete niemand wirklich, dass etwas Außergewöhnliches aus der Dämmerung heraussteigen würde. Wirklich spektakulär war der Komet nur vom 18. bis 22. Januar 2007 und auch immer nur kurze Zeit nach der Abenddämmerung: Für jeden Beobachter war der Komet in voller Pracht also insgesamt nur ein paar Stunden zu sehen. Und doch war er Tagesgespräch. Wer durch die Gegend fuhr und einen klaren Westhorizont hatte, konnte ihn einfach nicht übersehen.

Der Komet kam in den Nachrichten vor, mit Fotos und Videos, und Leute versammelten sich spontan an Aussichtspunkten, um ihn anzuschauen. In Sydney, Adelaide, Perth und Canberra kamen sie auf

Hügeln oder an Stränden zusammen. Ich habe von einem Passagier auf einem Flug von Sydney nach Perth gehört, dass der Pilot die Fluggäste über den Kometen informierte und für bessere Sicht die Kabinenbeleuchtung ausschaltete. Und ein befreundeter Amateurastronom hatte in Sydney einen Auftritt mit seiner Rockband: Vor dem Konzert kam er raus und zeigte dem Publikum den Kometen!

interstellarum: Neben den 82 Kometen – und weiteren, die nicht Ihren Namen tragen – haben Sie auch noch eine Unzahl Kleinplaneten entdeckt.

Robert McNaught: Eigentlich war ich immer nur ein Amateurastronom – einige der Kleinplanetenfunde kamen so zustande – und professioneller Beobachter bzw. Teleskop-Operateur. Die Kleinplanetentdeckungen, die dabei abfielen, habe ich nie gezählt, und nach dem Ende des AANEAS-Projekts hat es auch keine McNaught-Entdeckungen mehr gegeben: Alle Funde des Siding Spring Survey wurden der Durchmusterung als solcher zugeschrieben.

SURFTIPPS



- Alte Homepage McNaughts bei dem Siding Spring Survey

🔗 **Kurzlink:** oc1m.de/03bf

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

Comets!

Nichts ist aus ihm geworden – Komet ISON hat enttäuscht. Dennoch sind parallel zu dessen erwartetem »Jahrhundertauftritt« einige interessante neue Bücher zum Thema erschienen. Dazu gehört Comets!

Der Autor David Eicher ist kein Unbekannter. Als Jugendlicher gründete er das »Deep Sky Magazine«, eine Zeitschrift, die auch maßgeblichen Einfluss auf interstellarum hatte. Seit vielen Jahren ist Eicher der Chefredakteur der Zeitschrift »Astronomy«, eines der beiden großen amerikanischen Astronomie-Blätter.

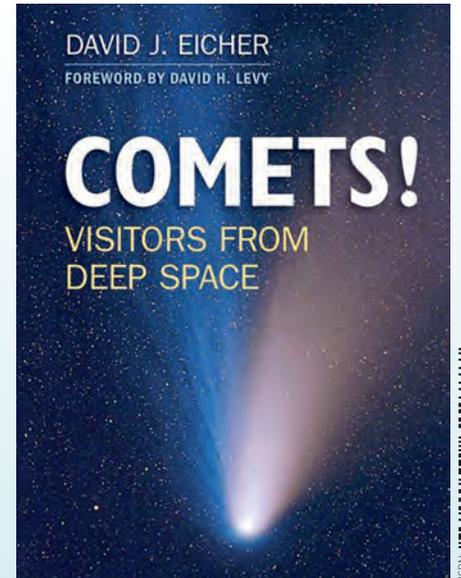
Comets! ist auch ein sehr amerikanisches Buch: Mit einer lockeren Schreibweise, einer persönlichen Note und viel Detailwissen fasst Eicher das heutige Wissen über Schweifsterne zusammen, berichtet von his-

torischen Großen Kometen und ihren Einfluss auf die Menschheit. Diese Kapitel sind hervorragend recherchiert und kurzweilig geschrieben.

Eher als ein Feigenblatt kommen die Abschnitte über Beobachtung und Fotografie daher. Der Autor wäre sicher kompetent genug, hier mit mehr Tiefgang vorzugehen, der Fokus des Buches liegt jedoch auf dem narrativen Teil, ein Beobachtungs-Ratgeber war nicht das Ziel.

Schade ist der bis auf wenige Farbtafeln durchgängige Schwarzweißdruck, der vielen Abbildungen nicht gut bekommt. Wer darüber hinwegsehen kann, erhält mit Comets! jedoch ein schönes Lesebuch für regnerische Abende.

► Ronald Stoyan



David J. Eicher: **Comets!**, Cambridge University Press 2013, 1. Auflage, 230S., ISBN 978-1-107-62277-7, ca. 20€

Kometen im Web

Kaum ein astronomisches Phänomen entwickelt sich so stürmisch und unvorhersehbar wie Kometen: Deswegen ist das World Wide Web ein ideales Medium für aktuelle Informationen. Zum »Pflichtprogramm« gehören dabei der Newsletter und der Twitter-Dienst von interstellarum. Hilfreich sind darüber hinaus aber auch die folgenden Webseiten.

► zusammengestellt von Daniel Fischer

► SURFTIPPS



interstellarum

- interstellarum Newsletter
- interstellarum auf Twitter

Kometenorganisationen und -portale

- Fachgruppe Kometen
- Kometensektion der BAA
- Kometen-Info
- Helligkeitsschätzungen
- Cometary Science Archive
- Curvas de Luz
- Cometography

Fundgruben zu aktuellen Kometen

- Kometenfotos der interstellarum-Leser
- Kometarium
- Winnies Kometenseiten
- Kometenseiten von Seiichi Yoshida
- Beobachtbare Kometen

Internationale Mailing-Listen

- Visuelle Beobachtungen
- Fotos
- Diskussion

🔗 [Kurzlink: oc1m.de/03pa](https://www.kurzlink.de/oc1m.de/03pa)

interstellarium 93



Seit 14.3.2014 im Handel.

interstellarium 94



Ab 16.5.2014 im Handel.

← INTERAKTIV



Senden Sie uns Ihre Texte und Bilder!

interstellarium veröffentlicht Ihre Texte zu allen Bereichen der praktischen Astronomie. Wir freuen uns über Ihre Artikel, Bilder und Beschreibungen!

Objekte der Saison für die kommenden Ausgaben

Name & Sternbild	Vorstellung	Ergebnisse	Einsendeschluss
M 57 (Lyr), M 92 (Her), NGC 5466 (Boo)	Heft 88	Heft 94	20.3.2014
M 27 (Vul), NGC 6826 (Cyg), IC 1318 (Cyg)	Heft 89	Heft 95	20.5.2014
NGC 869/NGC 884 (Per), NGC 752 (And), NGC 925 (Tri)	Heft 90	Heft 96	20.7.2014
M 42 (Ori), NGC 1502 (Cam), NGC 1300 (Eri)	Heft 91	Heft 97	20.9.2014
M 44 (Cnc), M 38 (Aur), NGC 2261 (Mon)	Heft 92	Heft 98	20.11.2014
M 65 / M 66 (Leo), M 63 (CVn), NGC 6229 (Her)	Heft 93	Heft 99	20.1.2015

Für eingesandte Textbeiträge, Fotos und Zeichnungen, überlassen Sie uns das Recht für die Veröffentlichung im Heft (gedruckte und digitale Ausgaben), auf interstellarium.de sowie den Archiv-CD/DVD. Weitere Nutzungen in Büchern sind nicht gleichzeitig gegeben und bedürfen der Genehmigung durch den Autor.

Prinzipiell drucken wir nur unveröffentlichte Fotos und Texte. Parallelveröffentlichungen bereits eingesandter Materialien sind gesetzlich für den Zeitraum eines Jahres nach Abdruck untersagt (§ 2-1 Verlagsgesetz) – wir bitten um Beachtung. Bitte informieren

Sie uns, ob Ihre Beiträge schon an anderer Stelle veröffentlicht worden sind.

Wir behalten uns vor, bei der Bearbeitung Randpartien einer Aufnahme abzuschneiden und diese zu verkleinern/vergrößern sowie orthographische und sprachliche Korrekturen am Text vorzunehmen. Eingesandte Beiträge werden nicht sinntestellend verändert bzw. gekürzt ohne Einverständnis des Autors. Der Verlag übernimmt keine Haftung für unverlangt eingesandtes Material.

[Kurzlink: oc1m.de/mia](http://oc1m.de/mia)

Abonnement

8 Hefte jährlich: 6 Ausgaben zweimonatlich + 2 Themenhefte
59,90€ (DE, AT), 64,90€ (CH, Ausland)
www.interstellarium.de/jahresabo.asp

Abo-Service

Britta Gehle, aboservice@interstellarium.de,
Tel. 09131/970694, Fax 09131/978596

Impressum

interstellarium

Zeitschrift für praktische Astronomie
gegründet 1994 von Jürgen Lamprecht,
Ronald Stoyan, Klaus Veit

Verlag

Oculum-Verlag GmbH, Spardorfer Str. 67,
91054 Erlangen

Geschäftsführung

Ronald Stoyan

Chefredaktion

Ronald Stoyan

Redaktion

Daniel Fischer, Dr. Frank Gasparini,
Dr. Hans-Georg Purucker
redaktion@interstellarium.de

Kolumnen

Prof. Dr. Ullrich Dittler, Kay Hempel, Manfred
Holl, Matthias Juchert, Karl-Peter Julius, André
Knöfel, Burkhard Leitner, Uwe Pliz, Stefan Seip,
Lambert Spix, Wolfgang Vollmann

Astrofotos

Siegfried Bergthall, Stefan Binnewies, Michael
Deger, Ullrich Dittler, Torsten Edelmann, Bernd
Flach-Wilken, Ralf Gerstheimer, Michael Hoppe,
Bernhard Hubl, Wolfgang Kloehr, Bernd Koch,
Siegfried Kohlert, Erich Kopowski, Walter Ko-
prolin, Bernd Liebscher, Norbert Mrozek, Gerald
Rhemann, Johannes Schedler, Rainer Sparen-
berg, Sebastian Voltmer, Manfred Wasshuber,
Mario Weigand, Volker Wendel, Dieter Willasch,
Peter Wienerroither, Thomas Winterer

Herstellung

Christian Protzel (Leitung), René Belau

Grafiken

Christian Protzel, René Belau, Dr. Frank
Gasparini, Stephan Schurig, Arnold Barmettler

Anzeigen

Es gilt die Preisliste Nr. 15 vom 1.11.2013
www.interstellarium.de/mediainfo.asp

Anzeigenleitung

Marion Faisst, werbung@interstellarium.de,
Tel. 09131/9239067, Fax 09131/978596

Vertrieb (DE, AT, CH)

Verlagsunion KG, Am Klingenberg 10,
65396 Walluf, ISSN 0946-9915

Hinweise für Leser

Bildorientierung: Allgemein: Norden oben, Osten links; Planeten: Süden oben, vorangehender Rand links

Datenquellen: Sonnensystem: Kosmos Himmelsjahr, Ahnerts Kalender für Sternfreunde, Cartes du Ciel; Deep-Sky: Deep Sky Reiseführer, Eye & Telescope

Koordinaten: äquatoriale Koordinatengaben, Äquinoktium 2000.0

Helligkeiten: sofern nicht anders angegeben V-Helligkeit

Deep-Sky-Objekte: DS (Doppeltstern), OC (Offener Sternhaufen), PN (Planetarischer Nebel), GN (Galaktischer Nebel), GC (Kugelsternhaufen), Gx (Galaxie), Qs (Quasar), As (Sternmuster)

Kartenverweise: Deep Sky Reiseatlas (DSRA), interstellarium Deep Sky Atlas (isDSA), Fotografischer Mondatlas (FMA)

Dieses Dokument ist urheberrechtlich geschützt. Nutzung nur zu privaten Zwecken. Die Weiterverbreitung ist untersagt.

