

C/1999 S4 (LINEAR) - Suizid im Perihel

Von Ulrich Rieth, AAG Mainz

Hat er sich die leichte Enttäuschung der Astronomen auf der Erde zu Herzen genommen? Diese oder ähnliche Fragen könnte man sich über das Ende des, als "Ereignis des Jahres" angekündigten Kometen C/1999 S4 (LINEAR) stellen. Doch alles der Reihe nach.

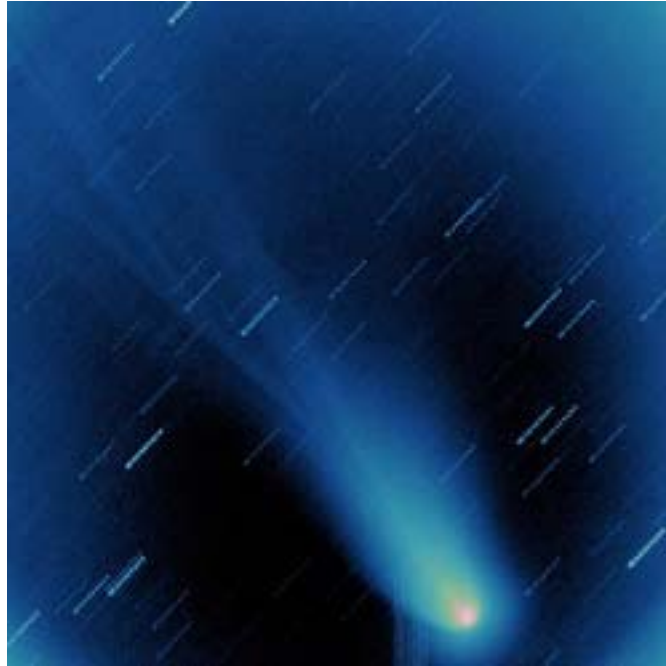
Am 27. September 1999 zeichnete die CCD-Kamera des LINEAR-Programms (Lincoln Laboratory Near Earth Asteroid Research) in New Mexiko ein Objekt auf, das sich auffällig bewegte und gerade die Jupiterbahn in Richtung Sonne durchwandert hatte. Durch Messungen von LINEAR am 28. September 1999 wurde die Helligkeit des Objektkerns zu 17.3-17.6^m bestimmt. Weitere Bilder wurden am 01. Oktober 1999 aufgenommen. Am gleichen Tag machte D.T. During am Cordell-Lorenz Observatory in Sewanee, Tennessee CCD-Aufnahmen des Kometen mit einem 30cm Schmidt-Cassegrain Teleskop. D.T. During bestimmte eine Helligkeit von 16.3^m, einen Koma-Durchmesser von 10 Bogensekunden und einen Schweif von 20-25 Bogensekunden. Eine weitere Bestätigung des kometenhaften Charakters des neuen Objektes kam ebenfalls am 01. Oktober von J. Ticha und M. Tichy. Sie fotografierten den Kometen am Klet Observatory mit einer CCD-Kamera in Verbindung mit einem 57cm Reflektor. Ihre Charakteristik des Kometen belief sich auf 16.2^m, einen Koma-Durchmesser von 8 Bogensekunden und einen Schweif von mehr als 10 Bogensekunden.

Die ersten Bahndaten wurden von Brian G. Marsden vom Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics aus den gesammelten Daten der vorgenannten Beobachtungen berechnet. Sie lieferten als Datum für den Periheldurchgang den 18. Juli 2000 mit einem sonnennächsten Punkt bei 0.72 AU. Marsden fügte seiner Veröffentlichung auch gleich die Anmerkung hinzu, dass der Komet im nächsten Juli mit bloßem Auge zu beobachten sein könnte. Weitere 8 Tage später berechnete Marsden seine Ephemeriden mit neu hinzugekommenen Daten nochmals und kam auf einen leicht veränderten Periheldurchgang am 24. Juli 2000 bei einem Abstand von 0.754 AU. Diese Daten kündigten bereits an, dass **C/1999 S4 (LINEAR)** eine maximale Helligkeit von 4^m erreichen könnte.

In den Monaten nach der Entdeckung wurde "LINEAR" nur allmählich heller. Im November 1999 war er noch schwächer als 14^m. Aber bereits Anfang des Jahres 2000 konnte er diese Grenze überspringen. Kurz bevor S4 im hellen Bereich der Sonne verschwand, erreichte er im März 2000 eine Helligkeit von 13.5^m.

Am 4. Mai konnte er dann erstmals wieder am Morgenhimmel beobachtet werden. K. Kadota aus Ageo, Japan bestimmte seine Helligkeit zu 13^m. Mit zunehmender Höhe von C/1999 S4 (LINEAR) am Morgenhimmel begannen dann Mitte Mai auch wieder andere Astronomen mit der Beobachtung. Seine Helligkeit war mittlerweile auf 12^m angewachsen. Anfang Juni war er dann knapp schwächer als 10. Größe mit einem Koma-Durchmesser von rund 3 Bogenminuten und einem schwachen Schweif von etwa 4-5 Bogenminuten.

Mit abnehmender Sonnenentfernung änderten sich die Werte nun recht schnell und Ende Juni steht eine Helligkeit von 8.5^m, ein Koma von 5-6 Bogenminuten und ein Schweif von 10 Bogenminuten zu Buche. Diese Werte lagen jedoch deutlich unter den optimistischen Vorhersagen von Brian G. Marsden, so dass die maximal erreichbare Helligkeit im Perihel auf 4. bis 6. Größenklasse reduziert werden musste. Tatsächlich erreichte C/1999 S4 (LINEAR) am 24. Juli für einen Tag den unteren Grenzwert dieser Schätzung mit 6-6.5^m. Aber sollte das schon alles vom "Ereignis des Jahres 2000" gewesen sein?



Aufnahme des Kometen C/1999 S4 (LINEAR) vom 22. Juli 2000, gewonnen mit einer 1024x1024 CCD-Kamera an einem 36cm f/6.7 Schmidt-Cassegrain Teleskop. Das Bild ist eine Addition aus 10 ungefilterten 30 Sekunden Aufnahmen. Copyright 2000 by J. Skvarc, B. Dintinjana and H. Mikuz.

Bevor ich hierauf eine Antwort gebe, möchte ich zunächst von meinen eigenen Beobachtungsversuchen berichten.

Erstmalig versuchte ich am 28.06. die Region in der sich LINEAR aufhalten sollte, mit stehender Kamera abzulichten. Ohne Erfolg! Die nächsten fotografischen Versuch bis Mitte Juli sind ebenfalls alle am hellen Himmelshintergrund gescheitert. Allerdings war es mir am 11. Juli morgens um 3:35MESZ endlich vergönnt den Kometen im 10x50er Fernglas als nebliges Fleckchen in der Nähe des Perseus zu sichten. Weitere Beobachtungen folgten am 13. und 18. Juli wobei C/1999 S4 jeweils eine beachtliche Strecke am Himmel zurückgelegt hatte.

Jetzt wurde es endlich Zeit für eine Beobachtung im Teleskop. Mangels bisheriger Einweisung in Klein-Winternheim musste dies zunächst nachgeholt werden. Hierfür nochmals herzlichen Dank an Thorsten Schäfer, der sich kurzfristig zur Verfügung gestellt hatte.

Am 22.07. konnte es also endlich losgehen und gegen ca. 23MESZ war es auch relativ dunkel und der Mond noch so weit unter dem Horizont, dass eine Beobachtung eigentlich gelingen musste. Gemeinsam mit Bodo Corell versuchte ich also das Objekt der Begierde zu finden. Aber wie solche Aktionen scheinbar immer Enden müssen, waren wir an diesem Abend wohl zu übermütig oder einfach mit Blindheit geschlagen. Jedenfalls haben wir es nicht geschafft LINEAR im Bereich des großen Bären zu finden. Als kleine Entschädigung boten sich zwar einige Objekte der Sommermilchstraße, sowie am frühen Morgen der Mond, Jupiter und Saturn, aber das eigentliche Ziel stand immer noch aus. Deshalb wurde auch gleich ein Termin für die Beobachtung am nächsten Abend klar gemacht.

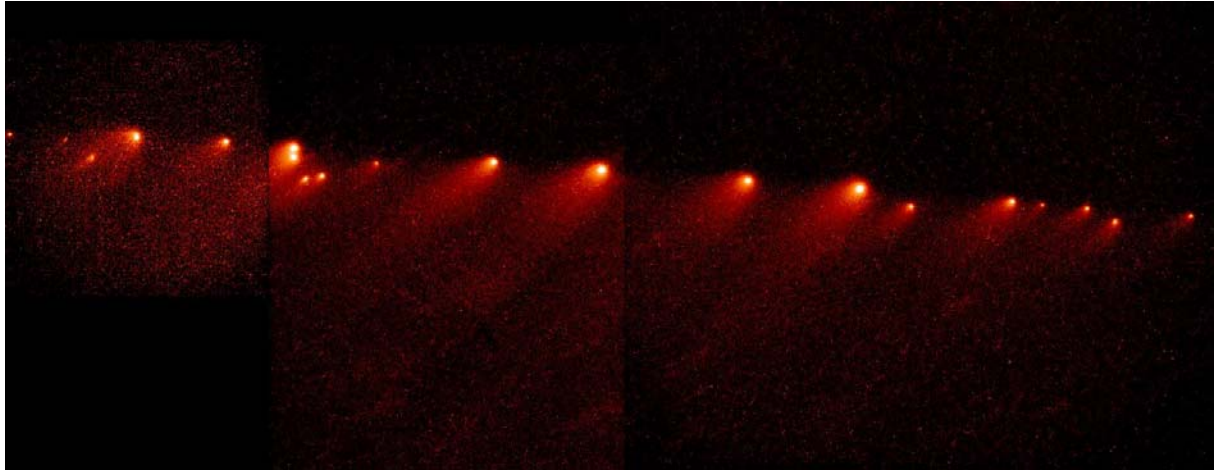
Neuer Tag, neuer Versuch, endlich Glück? Mit frischer Aufsucherkarte vorbereitet, ging es gegen 21:00MESZ am 23. Juli wieder zur Paul-Baumann-Sternwarte nach Klein-Winternheim. Diesmal hatte Bodo noch seinen Schwiegervater mitgebracht und beide waren

mit ihren privaten Refraktoren bewaffnet. Das waren also schon mal 3 Augenpaare und 3 Optiken, was sollte jetzt noch schief gehen. Um wirklich sicher zu gehen, wurde auch noch der VIXEN Feldstecher in Position gebracht, denn ich hatte während des Tages in Internet von zahlreichen Beobachtungen mit einfachen Geräten gelesen. Der Feldstecher war es dann auch, mit dem ich als erstes die Position des Kometen ausgemacht hatte. Erst jetzt wurde mir klar, wie blind ich am Vorabend gewesen sein musste. Aber das war nun alles vergessen. Die Position, als Spitze eines Dreiecks, dessen Grundlinie ψ und λ Ursae Majoris aufspannten, vor Augen, wurde das Schmidt-Cassegrain in Position gebracht. Und tatsächlich sprang mich LINEAR jetzt schon im Sucher geradezu an. Nach wenigen Sekunden konnte man ihn dann auch endlich bei 70-facher Vergrößerung sehen. Dies war allerdings noch deutlich zu wenig, um die Details in der Koma und im Staubschweif sehen zu können. Hierzu war dann doch eine 190-fache Vergrößerung besser geeignet und die Bedingungen ließen es auch sehr gut zu. Jetzt konnte man sehr schön die tropfenförmige Koma erkennen, die im vorderen Bereich deutlich heller und dicker war. Der stark zerfaserte Schweif fügte sich nahtlos an das spitze Ende des Tropfens an. In einigen Momenten konnte ich bis zu 5 oder gar 7 federartige Aufspreizungen erkennen, wie ich sie im Nachhinein auch auf einigen Aufnahmen im Internet wiedererkennen konnte. Um auch tatsächlich einen Beweis dafür zu haben, den Kometen gesehen zu haben, schnallte ich jetzt meine Kamera auf das Teleskop und belichtete für rund 10 Minuten mit einem 205er Telezoom. Und als ob die Sichtung alleine nicht schon genug gewesen wäre, so ist auf der Aufnahme tatsächlich ein kleines Abbild von LINEAR zu sehen, nichts Spektakuläres, aber immerhin ein schönes Bild. Nachdem jeder noch einen abschließenden Blick auf LINEAR geworfen hatte, wurde die Nacht mit der Beobachtung zahlreichen Kugelsternhaufen fortgesetzt bis der einsetzende Tau auch dem ein Ende setzte. Zum Abschluss gönnten Bodo und ich uns noch eine "Reise" über den schönen Mondterminator. Das war also unsere erfolgreiche C/1999 S4 (LINEAR) - Beobachtungsnacht gewesen.

Jetzt aber zurück zu der offen gelassenen Frage: "War es das schon, oder können wir noch mehr vom hellsten Kometen seit Hyakutake und Hale Bopp erwarten?" Vorweg schon einmal die Antwort: "Ja, wir können noch mehr erwarten. Oder besser wir konnten!" Zur Erinnerung, der Perihel-Durchgang war von Brian G. Marsden für den 24. Juli vorausberechnet worden.

Am 23. Juli beobachtete Dr. Mark Kidger mit dem 1m-Jacobus-Kapteyn-Teleskop (JKT) am Roque de los Muchachos Observatory auf La Palma den Kometen und stellte einen Helligkeitsausbruch im Vergleich zum Vortag um 0.5 Magnituden auf 6.0^m fest. Er berichtet, dass die CCD-Kamera am JKT schon nach 5 Sekunden Belichtungszeit einen Sättigungseffekt zeigte und er deshalb auf 2 Sekunden Belichtungszeit zurückgehen musste. Dies alles verwunderte ihn zunächst nicht und so fuhr er mit seinem eigentlichen Programm, der Beobachtung von Quasaren fort. Auffällig war aber neben dem Helligkeitssprung auch das plötzliche Auftauchen eines Gas-Schweifes. Dies war besonders seltsam, da laut Bericht von M. Kidger, C/1999 S4 im Unterschied zu den meisten Kometen einen 20-fach niedrigeren Anteil an Kohlenmonoxid-Eis besaß und daher eigentlich keinen so deutlichen Gasschweif hätte ausbilden können.

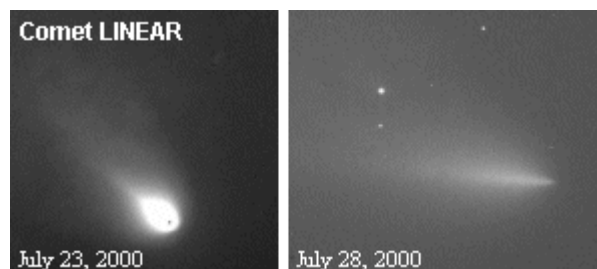
Am nächsten Tag hatte Kidger Besuch von einem deutschen Astronomenpaar, denen er einen spektakulären Blick auf LINEAR versprochen hatte. Aber was er an diesem Abend zu sehen bekam, war nicht mehr mit dem Vortag zu vergleichen. Das Objekt war viel schwächer geworden und einen Schweif konnte er auch kaum noch erkennen. Folglich wurden die Belichtungszeiten der CCD-Kamera wieder verlängert. An dieser Stelle berichtet Mark Kidger, dass auch bei diesem plötzlichen Schwächerwerden, bei ihm noch keine Alarmglocken zu läuten begannen.



Aufnahme des Hubble-Space-Telescope von D/Shoemaker-Levy 9 aus dem Jahre 1994. Die einzelnen Kometenfragmente, die schließlich auf Jupiter einschlugen, waren deutlich größer als bei LINEAR.

Das passierte erst am nächsten Abend, als ihm bereits in den ersten Bildern die völlig veränderte Form der Koma auffiel. Sie hatte nicht mehr ihre, vom Sonnenwind verursachte, tropfenförmige Form, sondern sah eher aus wie eine "kurze, fette Zigarre", was Kidger sofort an die ersten Aufnahmen von Shoemaker-Levy 9 erinnerte. Trotz allem verlies ihn seine wissenschaftliche Skepsis noch nicht und er wollte sich erst vergewissern, dass auch andere seine Meinung teilten. Zu diesem Zweck schickte er seine Aufzeichnungen unter anderem an Brian Marsden. Dieser riet ihm aber auch, noch auf weitere Aufnahmen zu warten, bevor er mit seiner Entdeckung an die Öffentlichkeit ginge. Besonders deshalb, weil schon in Aufnahmen vom Hubble Space Telescope, die Anfang Juli gewonnen wurden, ein größeres Teil vom Kometenkern abgebrochen war. Auf den Hubble Bildern konnte dieses Teil nach 2 Tagen als deutliche Aufhellung im Schweif ausgemacht werden.

Also wurde der 26. Juli zum entscheidenden Tag. Sollte von S4 nur ein Stück abgebrochen sein, würden die Aufnahmen dieses im Bereich des Schweifs zeigen. Wäre jedoch eine stärkere Fragmentation eingetreten, so sollte sich ein perlenkettenförmige Aufreihung wie bei Shoemaker-Levy 9 zeigen. Was Mark Kidger an diesem Abend aber im JKT sah war lediglich eine noch länger gezogene Zigarrenform mit einer zentralen Aufhellung von ca. 30 Bogensekunden. Dies führte zu der Suche nach einem möglichen Fragment in der Helligkeitsverteilung der Koma, jedoch ohne Erfolg. Also kam Kidger zum Schluss, dass LINEAR extrem stark fragmentiert sein musste. Er war regelrecht explodiert und in seine Grundbausteine, nämlich Staub und Eiskristalle zerplatzt.

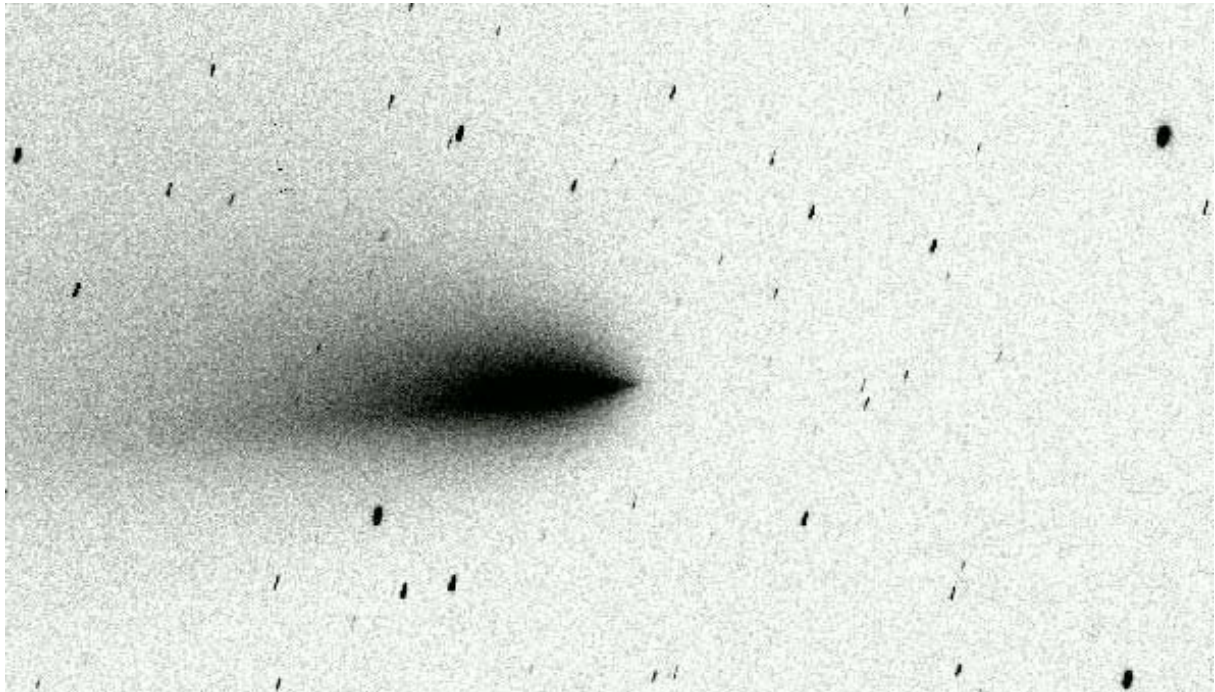


Vergleich des Kometen C/1999 S4 (LINEAR) vor (23.07.) und nach (28.07.) der Auflösung des Kerns. Aufgenommen am 1m-Jacobus-Kapteyn-Teleskop am Roque de los Muchachos Observatory auf La Palma von Dr. Mark Kidger

Wieder einen Tag später (27.07.) war der Komet noch weiter in die Länge gezogen. Der Zentralbereich war jetzt 45-50 Bogensekunden lang und auch die Helligkeit der gesamten

Koma ging immer stärker zurück, was durch zahlreichen Amateurbeobachtungen bestätigt wurde. Jetzt war es an der Zeit, eine offizielle Mitteilung über das bevorstehende bzw. stattfindende Ende von C/1999 S4 (LINEAR) herauszugeben. Mark Kidger schrieb noch während der laufenden Beobachtung einen Beitrag für das IAU Rundschreiben Nr. 7467. Damit war die Beobachtungswelle ins Rollen gebracht und zahlreiche Teleskope auf der ganze Welt beobachteten in den folgenden Tagen den sterbenden Kometen, der weiterhin seine Bahn weg von der Sonne zog.

Erste Schätzungen von Brian Marsden gingen davon aus, dass man S4 nur noch bis in die ersten Augustwochen sehen würde. Mark Kidger konnte in den folgenden Tagen leider keine Beobachtungen mehr machen, da auf La Palma starke Waldbrände ausgebrochen waren und das Roque de los Muchachos Observatory ständig auf den Evakuierungsbefehl wartete.

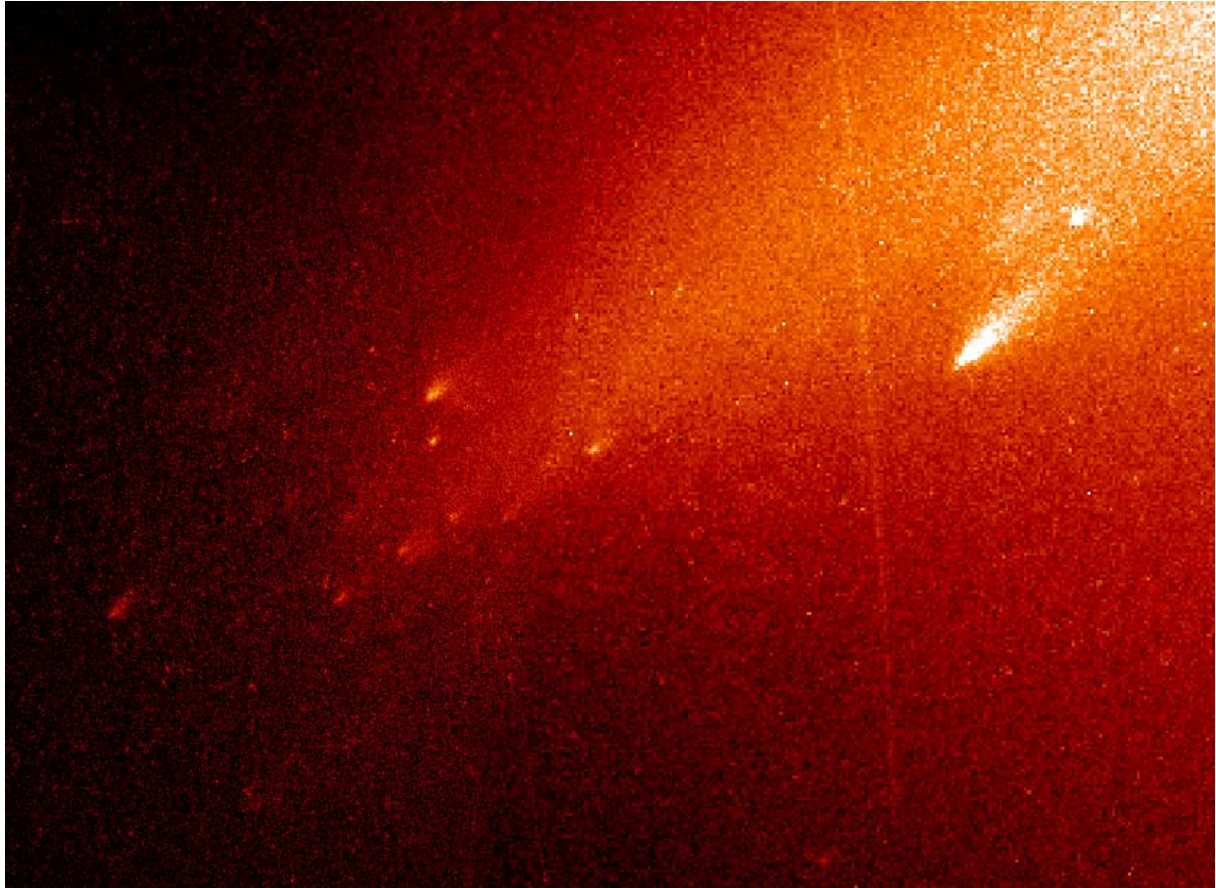


C/1999 S4 (LINEAR) am 01. August 2000 aufgenommen mit der Wide-Field-CCD-Kamera des 2.5m-Isaac-Newton-Teleskope am Roque de los Muchachos Observatory auf La Palma von R. Corraldi and N. O'Mahoney. Belichtet wurde für 100 Sekunden durch ein Rot-Filter. Die Negativ-Darstellung umfasst ein Blickfeld von 22 Bogenminuten und hebt den noch vorhandenen Schweif besser hervor.

Zusätzlich wurde jetzt nach dem Grund der Auflösung von LINEAR gesucht. Hierbei schlug Z. Sekanina vom Jet Propulsion Laboratory in Pasadena vor, dass C/1999 S4 nur ein Fragment eines viel größeren Kometen gewesen sein könnte, der sich im gleichen Orbit um die Sonne bewegt hat und dabei vor Jahrhunderten möglicherweise ebenfalls im Perihelion zerbrochen ist. Diese These stützt er mit verschiedenen Beobachtungen von Kometenfragmenten, die ebenfalls plötzlich zerplatzt sind (z.B. Komet Ikeya-Seki, 141P/Maccholz 2, C/1997 N1 (Tabur)).

Am 01. August berichtete auch Dr. M. Kidger wieder von LINEAR. In einer 100 Sekunden lang durch ein Rotfilter belichteten CCD-Aufnahme konnte am Isaac-Newton-Teleskop auf La Palma kein kondensierter Kern in der Koma gefunden werden. Dies war wieder ein Beweis für die völlige Auflösung des Kometenkerns.

Indirekt bestätigten die Ereignisse bisher auch die gängige Kometen-Theorie, wonach diese Körper aus kleineren Kometesimalen aufgebaut sind, die durch Wasser- und Kohlenmonoxid-Eis "zusammengeklebt" sind. Beim Annähern an die Sonne verdampft das Eis und bildet den charakteristischen Gasschweif. Da bei diesem Prozess immer mehr Staubteilchen ihre Verbindung zum Kern verlieren, gibt es auch noch den (meist helleren) Staubschweif.



Aufnahme des Hubble-Space-Teleskope von C/1999 S4 (LINEAR) am 05. August 2000. Sehr schön erkennt man die einzelnen Kometenfragmente, die vom Kern übrig geblieben sind und nun den vorderen Abschluss der Koma bilden.

Bei C/1999 S4 muss der Kern schon relativ klein (ca. 200 Meter) und arm an Eis gewesen sein, so dass im sonnennächsten Punkt der Bahn, dem Perihel, auch noch die restlichen Anteile an Eis sublimiert sind und die Kometesimale als Staubwolke übrig geblieben sind. Die Abfolge der tatsächlichen Ereignisse ist in sehr guter Übereinstimmung mit der theoretischen Vorhersage. Dies wird besonders durch die gemessenen Eis-Abdampfraten bestätigt, die von 3.6 Tonnen/s am 6. Juli auf knapp 1 Tonne/s am 13. Juli abfielen. Um oder kurz vor dem Perihel-Durchgang fand dann nochmals ein starker Ausbruch statt, dem anschließend der bereits angesprochene Helligkeitsabfall und die Elongation der Koma folgte. In dieser Zeit (29. Juli) wurden dann auch nur noch 129 kg Wassereis pro Sekunde freigesetzt, was nicht einmal 25% der Maximal-Abdampfrate entspricht. Innerhalb der langgestreckten Koma befanden sich in der Endphase von S4 nur noch die aus Staub bestehenden Kometesimale, die ausschließlich aufgrund ihrer eigenen Schwerkraft zusammenblieben.

Allerdings vermutete Kidger nun, dass die markante Spitze der Koma von einem größeren Fragment gebildet sein könnte, dass noch nicht vollständig zerfallen war und den Kometen weiterhin "anführte". Er kam also doch wieder auf seine Vorstellung von Shoemaker-Levy 9 zurück.

Diese Vermutung wurde am 05. August durch Aufnahmen des Hubble-Space-Teleskops bestätigt, die deutliche einige Fragmente mit individuellen Schweifansätzen an der Spitze der Koma von C/1999 S4 (LINEAR) zeigten.



Aufnahme des Very-Large-Teleskope (ANTU) der Europäischen Südsternwarte von C/1999 S4 (LINEAR) am 06. August 2000. Hier sind erstmals auf einer erdgebundenen Aufnahme die Kometesimale zu erkennen.

Die Gelegenheit, das Ende eines Kometen quasi hautnah und in Echtzeit verfolgen zu können, wurde jetzt erst recht ergriffen. Der für die Hubble-Aufnahmen verantwortlich Wissenschaftler Harold Weaver von der Johns Hopkins Universität in Baltimore und einige seiner Kollegen stellten sofort nach den erfolgreichen Aufnahmen einen Antrag auf Beobachtungszeit am Very-Large-Teleskope (VLT) der europäischen Südsternwarte (ESO) auf dem Paranal in Chile. Diesem Eilantrag wurde sofort zugestimmt und schon am Abend des 06. August richteten die Astronomen in Chile das Teleskop ANTU auf den Kometenkern. Drei Aufnahmen von 9min, 10min und 8min wurden mit dem Instrument FORS-1 durch ein Rotfilter belichtet. Nach einer intensiven Bildbearbeitung kamen tatsächlich mehr als ein Dutzend kleinste Kometenfragmente zum Vorschein. Diese nur einige 10 Meter großen "Minikometen" hatten im Vergleich zur Hubble-Aufnahme ihre Positionen schon deutlich verändert bzw. waren gänzlich verschwunden, was als Indiz für die dynamischen Bedingungen in der Koma von C/1999 S4 gewertet wurde. Eine weitere Aufnahme des VLT am 09. August bestätigte die dramatischen Veränderungen der einzelnen Fragmente. Einige nahmen an Helligkeit zu, wohingegen Andere gänzlich verschwanden. Außerdem änderten alle sichtbaren Teilstücke ihre Position vom einen Tag auf den anderen sehr stark.

Aufgrund dieser erfolgreichen Beobachtungen der Kometenbruchstücke mit Großteleskopen sowohl auf der Erde als auch im Weltraum, wurde eine weitere Zusammenarbeit zwischen HST und VLT und somit auch weitere Beobachtungen der Auflösungsphase von LINEAR vereinbart.

Zum Schluss noch ein Hinweis auf den nächsten Kometen, der wahrscheinlich mit einem Feldstecher sichtbar sein wird. Mark Kidger wies in einem kurzen Bericht am 10. August auf den Kometen C/1999 T1 (McNaughty-Hartley) hin, der ab etwa Dezember 2000 auf der Nordhalbkugel zu sehen sein wird. Die Helligkeit soll sich im Bereich von 6 - 7 Magnituden bewegen, wobei zur Zeit noch zu wenige Beobachtungen vorliegen, um genauere Angaben machen zu können.

Literatur:

[1] Die Geschichte des Kometen C/1999 S4 (LINEAR):

<http://comets.amsmeteors.org/comets/lcomets/1999s4.html>

[2] LINEAR-Seite bei Sky&Telescope:

<http://www.skypub.com/sights/comets/0007linearS4.html>

[3] Homepage des Kometen LINEAR:

<http://www.cometlinear.com/>

[4] Science@NASA Nachrichten-Archiv:

http://science.nasa.gov/headlines/news/_archive.htm

[5] IAU Rundschreiben: #7267, #7285, #7300, #7444, #7449, #7455, #7461, #7464, #7467-68, #7470-72, #7474-76: <http://www.astro.wisc.edu/~iau/IAUC/>

[6] Galerie von Dr. Mark Kidger: <http://www.iac.es/galeria/mrk/>

[7] Archiv mit Pressemitteilungen vom Hubble-Space-Telescope:

<http://opposite.stsci.edu/pubinfo/pr.html>

[8] Archiv mit Pressemitteilungen vom European-Southern-Observatory:

<http://www.eso.org/outreach/press-rel/>