

Kometenjahre

Shoemaker-Levy, Hyakutake, Hale-Bopp und Co.

von Jürgen Wirth

Was mag es sein, das Menschen so an den Kometen fasziniert? Ist es die Faszination des Vergänglichen, des Unwiederholbaren, des Individuellen, Einmaligen? Oder sind nicht doch Ängste, vielleicht Urängste, Instinkte im Spiel, die die Aufmerksamkeit der Menschen fesseln, sobald etwas Unerwartetes, sich unvorhergesehen Veränderndes am Himmel über ihnen auftaucht? Kommt dort ein Funken der archaischen Bindung zum Vorschein, die das Schicksal des Menschen mit dem kosmischen Geschehen untrennbar verknüpft?

Faszination oder Urängste?

Tatsache ist jedenfalls, daß viele Zeitgenossen, die sonst eher gelassen die wechselnden Konstellationen der Planeten und Gestirne über uns hinnehmen, beim Auftauchen eines hellen Kometen jegliches Phlegma vergessen und weder Wege noch Strapazen scheuen, um auch sicher einen Blick auf den flüchtigen Besucher am Himmel zu erhaschen. So waren es 1997 Hunderte von Besuchern, die bei den verschiedenen Veranstaltungen: Vorträgen, Beobachtungsterminen in der Sternwarte, in der Poppelsdorfer Allee am Refraktorium oder gar auf freiem Felde in Tannenbusch z.T. stundenlange Wartezeiten in Kauf nahmen, nur um den Kometen Hale-Bopp einmal durch das Teleskop gesehen zu haben. Werden sie später dann ihren Enkeln von dem Großen

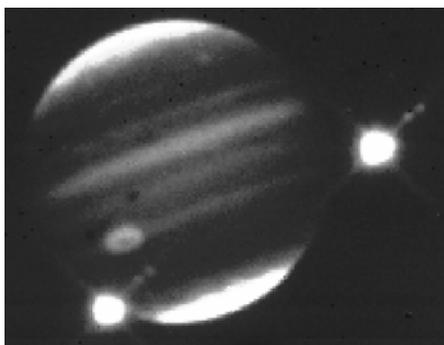


Abb. 1: Aufsteigender Feuerball des Einschlags des Fragments A (links unten) auf Jupiter, 1994 Juli 16, ca. 20:15 UT, im Infraroten bei 2.3 µm Wellenlänge. Rechts oben der Mond Io. (Calar Alto Observat.)

Kometen Ende des letzten Jahrtausends berichten?

Grund genug hätten sie, denn die letzten Jahre des zu Ende gehenden Jahrtausends waren geprägt von einer Reihe beeindruckender Kometen-Ereignisse, die in der Öffentlichkeit auf starkes Interesse stießen. Da konnte im heißen Hochsommer des Jahres 1994 erstmals beobachtet werden, wie zwei kosmische Körper zusammenstoßen: Der Absturz des Kometen Shoemaker-Levy 9 auf Jupiter. Kaum eineinhalb Jahre später tauchte unerwartet der helle Komet Hyakutake auf, der am Nordhimmel ein beeindruckendes Schauspiel abgab. Wurde schon er als Jahrhundertkomet gefeiert, so kommt seinem Nachfolger im Jahre 1997, Hale-Bopp, der Titel „Großer Komet“ zu.

1994: Komet Shoemaker-Levy 9 stürzt auf Jupiter

Schon sahen selbsternannte Propheten den Weltuntergang herannahen, andere erkannten den letztmaligen Fingerzeig Gottes an die Menschheit, endlich umzukehren und in sich zu gehen; Wissenschaftler hingegen arbeiteten fieberhaft an umfangreichen Beobachtungsprogrammen und Modellrechnungen, um abzuschätzen, was beim vorausberechneten Absturz des Kometen 1993e: p/Shoemaker-Levy 9, nach neuer Nomenklatur: D/1993 F2, ablaufen würde. Nahezu alles war möglich: Riesige Feuerbälle mit Gasauswurf, die Bildung neuer langlebiger Flecken (wie der Große Rote Fleck, nur eben kleiner) oder nur ein sanftes Verglühen ohne beobachtbare Effekte, so daß aller Aufwand umsonst wäre?

Kurz vor Mitternacht am Samstag, Juli 16, meldete das Hauptquartier der Europäischen Südsternwarte (ESO) in Garching die Infrarot-Beobachtung eines spektakulären Feuerballs vom Einschlag des Fragments „A“, der sich nach etwa einer halben Stunde auf ca. 13'000 km, und damit mehr als den Durchmesser der Erde, ausgedehnt hatte und die Infrarothel-

ligkeit des innersten Galileischen Mondes Io überstieg (Abb. 1). Die erste Nachricht darüber erschien morgens 02:30 Uhr im deutschen Fernsehen.

Gleich dieser erste Einschlag löste bei den beteiligten Wissenschaftlern begeisterte, ja überschwengliche Reaktionen aus. Als dann Beobachtungen aus aller Welt eintrafen, stand auch der wissenschaftliche Wert des Ereignisses, dieser astronomischen Sensation außer Frage.



Abb. 2: Die Kette der Kometenfragmente 1993 März 28 (ESO)

Doch zunächst einige Worte zur Vorgeschichte. Am 23. März 1993 fanden die drei Kometensucher Carolyn und Eugene Shoemaker, der im Juli 1997 bei einem Autounfall ums Leben kam, und David Levy auf Fotoplatten ein strichförmiges Objekt 14. Größe ca. 4° neben Jupiter, das sie für einen Kometen hielten (Abb. 2). Wenige Tage später wurde die Entdeckung von der Internationalen Astronomischen Union (IAU) bestätigt. Es stellte sich allerdings heraus,

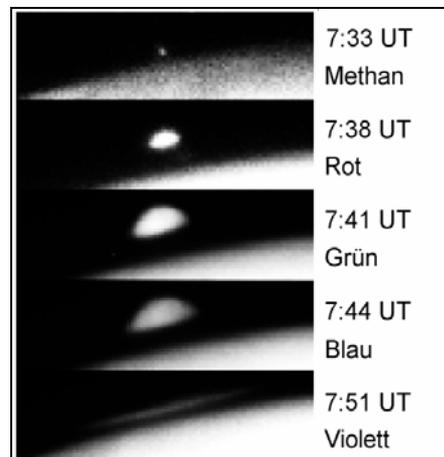


Abb. 3: Aufsteigender Feuerball des Einschlags des Fragments G auf Jupiter, 1994 Juli 18, durch verschiedene Filter aufgenommen. (Hubble Space Telescope)



Abb. 4: Perlenschnur der Kometenfragmente A bis V (von rechts nach links) im Mai 1994 mit ihren Staubschweifen. Die Sonne steht links unten, Jupiter rechts. (Hubble Space Telescope)

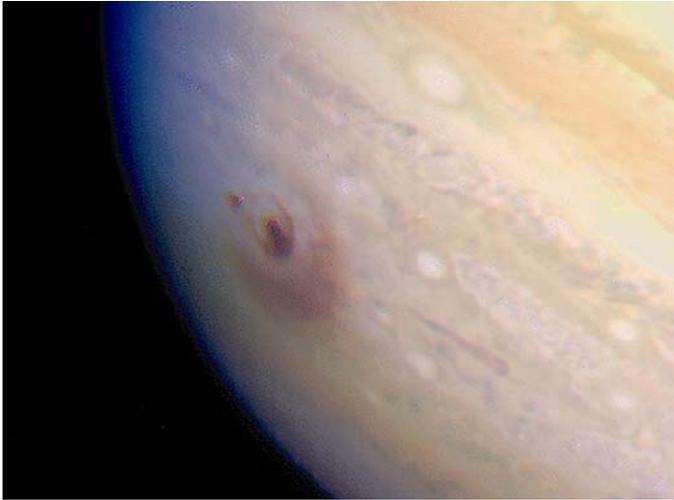


Abb. 5: Einschlag-Punkte der Fragmente D und G (von links) im sichtbaren Licht kurz nach dem Einschlag G 1994 Juli 18 (Hubble Space Telescope)

Abb. 6: Zeitliche Entwicklung: Das linke Teilbild zeigt klein am Planetenrand den aufsteigenden Feuerball von Fragment G, das zweite 15 Min. später den Einschlag-Punkt D/G. Das dritte entstand Juli 21, das rechte Juli 23; beide zeigen zusätzlich links den Einschlag-Punkt von Fragment Q1. (Hubble Space Telesc.)



Abb. 7: Zeitliche Entwicklung der Einschlag-Punkte im Infraroten bei 2.3 μm Wellenlänge. Von links: 1994 Juli 21 (Einschlag R, Univ. of Hawaii), Aug. 17 (Calar Alto Obs.), Sep. 15 (NASA-IRTF, Hawaii), Sep. 20 und 1995 Feb. 18 (Calar Alto Obs.)



Abb. 8: Komet Hyakutake 1996 März 28, 0:37 Uhr MEZ, aufgenommen mit Pentax-Teleobjektiv 135 mm (120 s) auf dem Gänsehals/Eifel auf Kodak Ektachrome Panther 1600 mit manueller Nachführung ca. 10° neben dem Polarstern. Die roten Punkte stammen von einem das Bildfeld kreuzenden Flugzeug.

Abb. 9: Kopf des Kometen Hyakutake 1996 März 27, 23:17 Uhr MEZ, aufgenommen mit Pentax-Teleobjektiv 500 mm (120 s), Ort und Film wie in Abb. 8. (Aufnahmen des Autors)



daß sich dieser Komet nicht mehr auf einer Bahn um die Sonne befand, sondern auf einer stark elliptischen Umlaufbahn um Jupiter, die ihn am 16. Juli 1993 bis auf 49.5 Mio. km von Jupiter wegführte. Vermutlich ist er zwischen 1920 und 1930 von Jupiter in diese Bahn eingefangen worden.

Die längliche Spur entpuppte sich als eine 158'000 km lange Kette von 22 Bruchstücken des ursprünglichen Kometen (siehe Abb. 3), der, so ergab die Rückrechnung, am 8. Juli 1992 Jupiter in nur 44'000 km Höhe über den Wolken in weniger als einem Jupiterradius passiert hatte! Dabei hatten die Gezeitenkräfte des großen Planeten den Kometenkern, ursprünglich wohl 4.1 ± 0.6 km groß, in einzelne Bruchstücke zerlegt, deren Größen zwischen 350 m und 2 km angenommen werden. Die Sensation ergab sich erst, als klar wurde, daß seine Bahn, bedingt durch die Störkräfte der Sonne, den Kometen im Juli 1994 zum Absturz auf Jupiter mit Geschwindigkeiten von ca. 200'000 Stundenkilometern bringen würde. Zu diesem Zeitpunkt hatten sich die Bruchstücke dann auf einer Länge von fast 5 Mio. km verteilt. Zwischen dem Aufschlag des ersten und des letzten Fragments sollten fünf Tage und elf Stunden vergehen.

Die Einschläge

Mit großer Genauigkeit den Vor-ausberechnungen folgend, versank die Perlenschnur des Kometen Teil auf Teil in der dichten Atmosphäre des Planeten, der sich unter ihr mit einer Rotationsdauer von $9^h 55^m 40^s$ wendete. Die Einschläge fanden knapp hinter dem „aufgehenden“ Planetenrand statt, so daß die Einschlagstellen nach ca. 10 bis 15 Minuten von der Erde aus sichtbar wurden. Langsam begannen sich neue Einschläge und ältere „Narben“ gleichmäßig in dem schmalen Bereich zwischen 42.8° und 44.7° südlicher Jupiterbreite an der Grenze zwischen dem 3. Südlichen Gemäßigten Band (SSSTB) und der Südpolarzone (SPR) zu verteilen, wobei 11 der 16 Einschläge auf einer Hemisphäre lagen. Der Ablauf war dabei jedes Mal in etwa derselbe (siehe Abb. 3): Das Fragment tritt mit 20- bis 50-facher Schallgeschwindigkeit

in die Atmosphäre ein, heizt sich zunächst auf und beendet seinen Weg nach einer 2 Sekunden dauernden Bolidenphase etwa 100 km unter der sichtbaren Wolkenoberseite im Bereich der Wolkenbasis in einer gewaltigen, 2-4 km messenden Explosion, bei der der verbliebene Kernrest in seine Bestandteile verdampft und die gasförmigen zusammen mit den staubförmigen Komponenten in der Jupiteratmosphäre verteilt werden. Das Fragment „G“ z.B. hatte vermutlich ca. 2 km Größe; bei seinem Einsturz bis auf etwa 385 km Tiefe wurden Energien entsprechend 60 Mio. Megatonnen TNT freigesetzt. Fragment „R“ wurde auf 500 m und 30 Mio. t Masse geschätzt.

Beim Einsturz entwickelt sich durch die Reibungshitze eine bis zu 18'000 K heiße Gassäule, die sich innerhalb weniger Sekunden pilzartig über die Wolkenschicht erhebt und in allen Infrarot-Wellenlängen als erstes sichtbar wird. Nach etwa 8-9 Minuten erreichten diese Gasbälle jeweils bei einer Temperatur von ca. 500 K etwa 3200 km Höhe und Ausdehnungen im Bereich von 10'000 km, sanken danach wieder in sich zusammen und die darin enthaltenen Aerosole verteilten sich auf Flächen von über 10'000 km (Abb. 5 und 6).

Die Schockwelle des mit Überschallgeschwindigkeit eintretenden Kometenkerns breitete sich mit 1'000 bis 2'000 Stundenkilometern aus, Geschwindigkeiten, die auf eine Druck-

welle schließen lassen. In den sichtbaren Wellenlängen umgab ein schmaler, dunkler Ring das tiefreichende „Loch“, das von dem Einschlag in der Atmosphäre übrig blieb (Abb. 5) und auch nach Tagen und vielen Rotationen noch sichtbar war. Dieser Ring hatte knapp Erddurchmesser. Die größere, sichelförmige, dunkle Struktur rechts unten entstand bereits etwas früher und lag in höheren Schichten der Atmosphäre, weswegen ihr Zentrum entsprechend der schräg von unten kommenden Flugbahn der Fragmente nicht mit dem dunklen „Loch“ übereinstimmt.

Ein wenig Chemie

Die bei den Einschlägen aufgestiegenen Materialien enthielten den Messungen zufolge überwiegend Bestandteile der Jupiteratmosphäre, z.B. hohe Anteile an Schwefelverbindungen (S_2 , CS, CS_2 , H_2S) und Ammoniak aus seinen tieferen Schichten, aber auch Silizium, Magnesium, Kalium, Natrium, Kalzium und Eisen aus den Kometenfragmenten. Wasser konnte in geringem Umfang bei wenigen Einschlägen nachgewiesen werden. Eindeutige Aussagen und die Zuordnung der Beobachtungen waren aber extrem schwierig, da die beteiligten hohen Energien eine große Zahl chemischer Reaktionen ausgelöst haben dürften, die nur schwer nachvollziehbar sind.

Die weitere Entwicklung

In der Stratosphäre kühlen sich die Aerosole, die überwiegend aus den chemischen Radikalen OH und CH sowie Kohleteilchen bestanden, langsam ab, blieben aber mit um einige Grade höheren Temperaturen als ihre Umgebung noch für Wochen und Monate im Infraroten sichtbar, während sie sich um Jupiter herum zunächst in einer Zone zwischen 37° und 61° südlicher Breite verteilten. (Siehe Abb. 7!) Die Einschlagserie hat auch zu einer erhöhten Radiostrahlung des Jupiter geführt, und drei Einschläge konnten sogar im Röntgenbereich beobachtet werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß dieses außergewöhnliche Ereignis fast mehr Fragen aufgeworfen als beantwortet hat. Es hat uns gezeigt, daß die Kenntnis der Jupiteratmo-

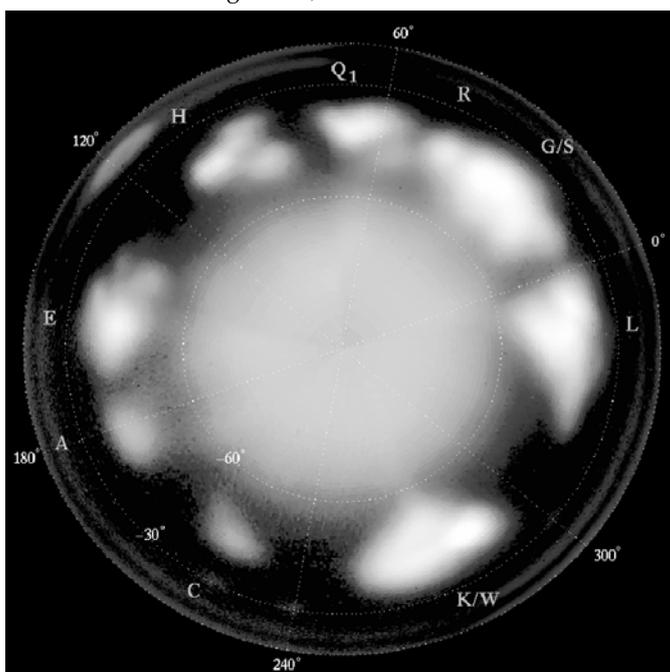


Abb. 10: Ein Südpolmosaik von Jupiter: Deutlich sind die ringförmig angeordneten Aerosolwolken nach dem Ende der Einschläge im nahen Infrarot ($2 \mu m$) zu erkennen. Der Nullmeridian zeigt nach rechts oben, der Große Rote Fleck ist links oben am Rand zu sehen. (1994 Juli 23, 5 m-Spiegel, Mt. Palomar Obs.)

sphäre noch sehr unvollkommen und die Interpretation derartiger „kosmischer Katastrophen“ äußerst schwierig ist. Aber es hat auch gezeigt, daß ein derartiger Einschlag auf der Erde für das höhere Leben und vor allem für die menschliche Zivilisation vernichtende Auswirkungen haben kann. Manche Ähnlichkeiten mit dem Tunguska-Einschlag von 1908 sind festzustellen. Die Wahrscheinlichkeit eines ähnlichen Einschlags auf der Erde ist sehr klein, aber eben nicht gleich Null - und wer weiß schon, wann sie eintrifft?

1996: Komet Hyakutake – der Überraschungskomet

Es war der frühe Morgen des 31. Januar, als der bekannte japanische Amateurastronom Yuji Hyakutake mit seinem 25x150-Feldstecher am Himmel ein schwaches Wölkchen mit einer zentralen Verdichtung an der Grenze zwischen den Sternbildern Hydra (Wasserschlange) und Libra (Waage) entdeckte mit einer Helligkeit von etwa 11. bis 12. Größenklasse. Nachdem er die Entdeckung gemeldet hatte und innerhalb der nächsten 24 Stunden viele weitere Beobachtungen eingingen, war klar, daß dies seine zweite Kometenentdeckung innerhalb von zwei Monaten war. Der Komet erhielt entsprechend seiner Entdeckung als zweiter in der zweiten Januarhälfte die Bezeichnung: C/1996 B2. Yuji Hyakutake lebt in Kagoshima, der südlichsten japanischen Präfäktur, ideal für die Entdeckung dieses zunächst sehr weit südlich stehenden Objekts.

Innerhalb von nur 3 Tagen gingen mehr als 100 Positionsbestimmungen des Kometen, der sich zu dieser Zeit noch jenseits der Entfernung von Mars befand, zumeist von Amateurbeobachtern ein, so daß Brian G. Marsden vom Central Bureau for Astronomical Telegrams der International Astronomical Union (IAU) in Cambridge/Mass. (USA) eine vorläufige Bahn berechnen konnte. Dabei wurde schnell klar, daß es sich bei diesem Kometen um ein ungewöhnliches Objekt handelte. Je genauer die Bahn bestimmt werden konnte, umso mehr kristallisierte sich heraus, daß dieser Komet der hellste seit 1556 ist, der sich der Erde auf so eine kurze Distanz näherte: Von Süden unter einer Bahnneigung (Inklination) gegen die Erdbahn (Ekliptik) von 124.9° kommend, passierte er die Erde 1996 März 25 gegen 8 Uhr MEZ in nur 0.102 AE, d.h. 15.26 Mio. km Abstand. Dabei hatte er eine Helligkeit



Abb. 11: Kernregion des Kometen Hyakutake (ca. 3000 km), aufgenommen 1996 März 25 mit der WFPC-2 des Hubble Space Telescope. Der auf der Sonnenseite (rechts) vom Kometenkern abgestoßene Staub breitet sich in Jets in die Koma aus.

von 0.1 Größenklassen erreicht, ein mit bloßem Auge leicht zu erkennendes Objekt.

Fast exakt in nördlicher Richtung laufend, überschritt er in der Nacht

März 19/20 den Himmelsäquator und wurde am Morgen des 24. März zirkumpolar, d.h. er ging nicht mehr unter. Seine Winkelgeschwindigkeit am Himmel betrug zu diesem Zeitpunkt 0.7°/Stunde. Am Abend des gleichen Tages erreichte der Komet unseren Zenit und passierte März 27 in 3½° Abstand den Himmelsnordpol (siehe hinterer Umschlag), wobei er den Polarstern an Helligkeit deutlich übertraf. April 10 verschwand er dann für uns im Norden unter dem Horizont.

Zu diesem Zeitpunkt hatte er sich der Sonne schon auf 0.7 AE (100 Mio. km) genähert. Seine weitere Bahn verlief im Eilschritt: Bereits Mai 1 um 9:35 UTC (Weltzeit) erreichte der Komet im Perihel seinen sonnennächsten Punkt in 0.23 AE (34 Mio. km) Abstand zu unserem Zentralgestirn. Zum Vergleich: Die Periheldistanz des Merkur beträgt 0.31 AE. Nach überstandener Passage lief er schnell weiter Richtung Süden, um Anfang Juni 1996 ganz aus unserem möglichen Beobachtungsbereich zu



Gasthaus Nolden GmbH

Seit 1904 im Familienbesitz
Fam. Nolden und Nehr Korn

Magdalenenstr. 33
53121 Bonn-Endenich
Tel. 0228/62 33 04
Fax 0228/61 26 42

**4 Bundeskegelbahnen
Gesellschaftsräume bis 100 Personen
Kalte und warme Buffets
(auch außer Haus)**

Öffnungszeiten:

Mo. - Sa. 11:00 - 14:00

16:30 - 24:00

So. + Feiert. 10:00 - 14:00

17:00 - 24:00



Unsere Adresse für ein gemütliches Nachkolloquium!



Abb. 12: Komet Hyakutake 1996 April 14, 20:52 Uhr MEZ, bei Hoffeld/Eifel mit Pentax-Normalobjektiv 50 mm (180 s) auf Kodak Ektachrome Panther 1600.

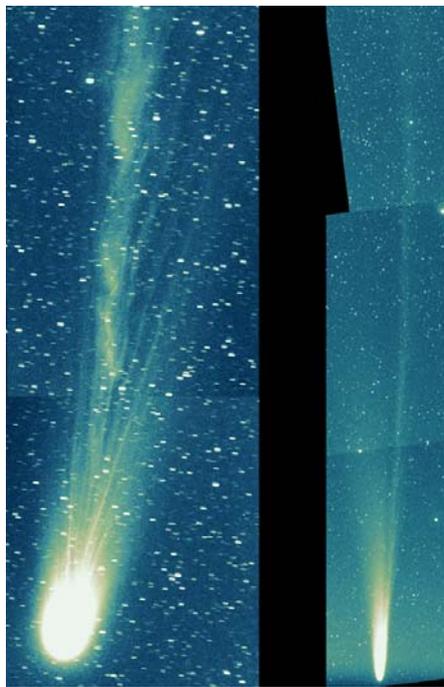


Abb. 13: Komet Hyakutake im Licht des H_2O^+ bei 620 nm Wellenlänge (Crni Vrh-Obs./Kroatien). Links: 1996 März 20 mit 20° Schweiß; rechts: April 21 ($1.9^\circ \times 10^\circ$).



Abb. 14: Kometenfotografie auf freiem Felde: der Autor bei nächtlicher Arbeit im Mondlicht mit Pentax-Teleobjektiv 500 mm auf nachgeführtem Teleskop. Reiferscheid/Eifel, 1997 Mai 2, 23:07 Uhr.



Abb. 17/18: Komet Hale-Bopp 1997 April 7 am Weißen Stein/ Ardennen. Oben: 23:17 Uhr mit Pentax-Teleobjektiv 135 mm (420 s); unten: 23:01 Uhr mit Pentax-Normalobjektiv 50 mm (360 s). Film wie vor. (Aufnahmen des Autors)

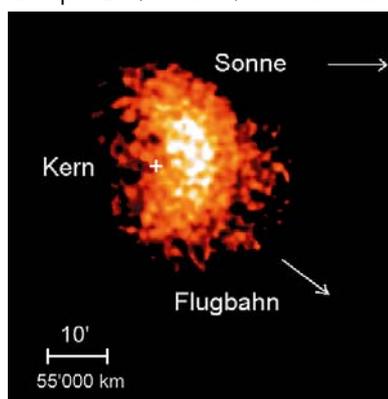


Abb. 15: Röntgenstrahlung in der Koma des Kometen Hyakutake, gemessen von dem Satelliten ROSAT mit dem HRI-Instrument, 1996 März 27 (MPE und NASA/ GSFC).



Abb. 16: Komet Hale-Bopp im südlichen Sternbild Doradus 1999 Juni 18 in 8.7 AE Entfernung. Falschfarben-Komposit 6'x7.2' (ESO 3.5 m-NTT)



Abb. 19: Komet Hale-Bopp. Wie Abb. 14, 23:15 Uhr mit Pentax-Teleobjektiv 500 mm (180 s). Film wie vor, wie auch Abb. 12, 17, 18 mit motorischer Nachführung.

verschwinden. Diesen Kometen kann man alleine aufgrund seiner besonderen Begegnung mit der Erde durchaus als einen Jahrhundertkometen bezeichnen!

Bahn und Beobachtungen

Komet Hyakutake gehört zu den langperiodischen Kometen; seine Umlaufzeit um die Sonne wurde Anfang März 1996 mit 18'360 Jahren bei einer Bahn-Exzentrizität von $e=0.999669$ errechnet. Beim Vorübergang an der Erde wurde seine Bahn mit Radar-Dopplermessungen verbessert und ergab mit einem $e=0.99989$ eine Umlaufzeit von knapp 100'000 Jahren. Der Komet entfernt sich auf dieser Bahn

im Aphel bis auf 4180 AE, das sind 625.6 Mrd. km oder 24 Lichttage Entfernung von der Sonne, 100 Mal weiter als die Plutobahn. Die letzte veröffentlichte Bahnbestimmung von Nov. 1996 ergibt sogar eine Apheldistanz von 4367 AE, entsprechend 653.3 Mrd. km, und eine Umlaufzeit von 289'000 Jahren, eine höchst unsichere Aussage, da schon geringe Änderungen der Exzentrizität große Änderungen der Apheldistanz bewirken.

Der Komet lieferte für die Menschen auf der Nordhalbkugel ein großartiges Schauspiel, da er in den Abendstunden leicht beobachtbar hoch am Himmel stand. Er entwickelte ab Ende Februar 1996 einen ausgeprägten Gasschweif, der Ende März 1996 bereits zeitweise bis zu 50° weit am Himmel zu verfolgen war (siehe Abb. 8 und 12), mit optischen Instrumenten sogar über 100°. Erstmals konnte bei diesem Kometen Röntgenstrahlung aus einem Gebiet von ca. 200'000 km Größe nachgewiesen werden, dessen Zentrum ca. 42'000 km vor dem Kern in der Koma lag (Abb. 15). Diese Entdeckung führte dazu, daß in älteren Daten Röntgenstrahlung von drei weiteren Kometen gezielt entdeckt werden konnte; ebenso zeigte Komet Hale-Bopp im Jahr später Röntgenemissionen. Diese werden als thermische

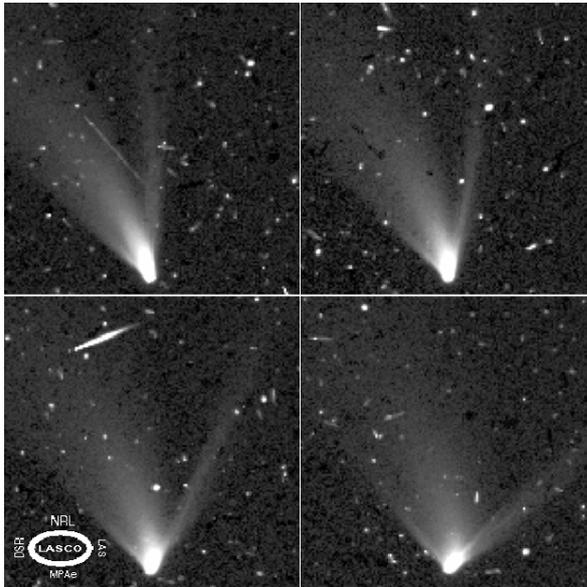


Abb. 20: Komet Hyakutake bei seinem Periheldurchgang 1996 Mai 1...4, aufgenommen vom LASCO-Koronagraphen auf dem Satelliten SOHO. Man beachte die Aufspaltung von Staubschweif (links) und Ionenschweif (rechts)! Die Sonne steht in Verlängerung der Richtung des Ionenschweifs unten bzw. links unten, der Komet bewegt sich nach rechts.

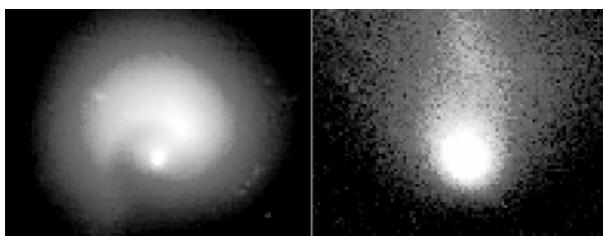
Bremsstrahlung interpretiert, hervorgerufen von Teilchen mit Temperaturen im Bereich von 4 Mio. K, vermutlich durch Energieübertrag aus dem Sonnenwind aufgeheizt.

Der ungewöhnlich aktive Kometenkern, der mit 6.1 Stunden rotierte, wird auf einen Durchmesser zwischen 1 und 3 km geschätzt. Die chemische Zusammensetzung seiner Gashülle, der Koma, mit Wasser, Kohlenmonoxid, Blausäure, verschiedenen Kohlenwasserstoffen, Kohlenstoff-, Schwefelverbindungen und Ammoniak entsprach der einer typischen Kometenkoma, die sich jedoch bei Hyakutake bereits in weit größerem Sonnenabstand entwickelt hat als bei vergleichbaren Kometen.

1997: Hale-Bopp, der Große

Komet Hyakutake war noch lange nicht entdeckt, da wußte man schon von einem Kometen, dem große Erwartungen entgegengebracht wurden: C/1995 O1 Hale-Bopp.

Abb. 21: Komet Hale-Bopp, aufgenommen mit dem Hubble Space Telescope. Links nach einem Staubausschub 1995 September 26; rechts 1995 Oktober 23. Beide Bilder umfassen jeweils ein ca. 50'000 km großes Gebiet.



Entdeckt wurde er 1995 Juli 23 gegen 06:15 Uhr UT von den beiden Amateurastronomen Alan Hale, Cloudcroft (New Mexico), und Thomas Bopp, Glendale (Arizona), mit ca. 10-20 Minuten Zeitdifferenz als Objekt 11. Größe. Um 06:50 Uhr UT ging die Entdeckungsnachricht beim Zentrum für Astronomische Telegramme der Internationalen Astronomischen Union (IAU) per e-mail ein. Zu diesem Zeitpunkt befand er sich mit 7 Astronomischen Einheiten (AE) noch mehr als 1 Milliarde Kilometer, erheblich weiter als Jupiter, von der Sonne entfernt und besaß eine nur kleine Staubhülle (Abb. 21). Aber bereits damals zeigte sein Kern eine große Aktivität und die Schätzungen für seine Helligkeitsentwicklung gingen dahin, daß er mindestens 0. Größe erreichen sollte.

Seine Umlaufbahn verläuft nahezu senkrecht auf der Ebene der Planetenbahnen ($i = 89.43^\circ$), wobei das Perihel 0.91 AE von der Sonne entfernt nördlich dieser Ebene liegt. 1997 März 23 erreichte der Komet seine größte Erdnähe in 1.32 AE Abstand.

Abb. 22: Komet Hale-Bopp 1997 Febr. 18, 03:56 UT im Licht des H_2O^+ bei 620 nm Wellenlänge. Das Bildfeld beträgt $2.5^\circ \times 3.8^\circ$. (Crni Vrh-Obs./Kroatien)



Eine gute Woche später, April 1, durchlief er um 05:22 Uhr MESZ mit etwa 160'000 Stundenkilometern Geschwindigkeit sein Perihel. Kam „Hale-Bopp“ auf einer langgestreckten Ellipse von 516 AE Ausdehnung mit 4161 Jahren Umlaufzeit ins innere Sonnensystem, so wurde seine Bahn im April 1996 durch einen -astronomisch betrachtet - „nahen“ Vorübergang an Jupiter in 115 Mill. km Entfernung (etwa $\frac{3}{4}$ der Entfernung Erde-Sonne) so verändert, daß er jetzt „schon“ in 2380 Jahren wiederkom-



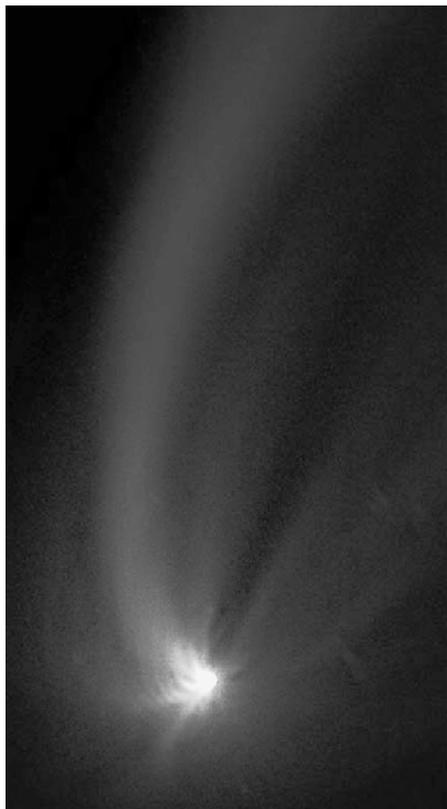
Abb. 23: Jets in Kernnähe des Kometen Hale-Bopp. Links: 1996 Sept. 24 (Nat. Astr. Obs. Japan); Mitte: Nov. 12 (Univ. of Hawaii); links: Dez. 3 (Nat. Astr. Obs. Japan). Das mittlere Bild umfaßt ca. 4.2' entsprechend 550'000 km.

men und sich nur noch 355 AE von der Sonne entfernen wird ($e=0.995$).

Eine enorme Entwicklung

Besaß der Komet bei seiner Entdeckung bereits eine kleine Staubschale, so entwickelte er etwa ab August 1996 deutlich erkennbare Jets in Kernnähe, deren Zahl z.T. das halbe Dutzend überschritt (Abb. 23); seine Koma erreichte zu diesem Zeitpunkt 3 Mio. km Durchmesser, sein Schweif eine Länge von 14 Mio. km. Ab Ende Januar 1997 entwickelte sich ein ausgesprägter Ionenschweif (siehe Abb. 17, 18 und 22). Anfang Februar konnten mit einer speziellen Technik erstmals Beobachtungen von Staubschalen gemacht werden (Abb. 25 und 26), die sich mit 300 m/s spiralförmig von Hale-Bopp's Kern ablösten, dessen Durchmesser auf minde-

Abb. 25: Komet Hale-Bopp 1997 Mai 7. Diese gefilterte und speziell nachbearbeitete Aufnahme des zentralen Teils der Koma zeigt Jets und Staubschalen-Strukturen. (Astronaut Memorial Planet./Florida)



stens 20 km geschätzt wird und der mit 11.5 Stunden rotiert. Aufnahmen des Hubble Space Telescope, auf denen der Kern nicht auflösen war, ergaben eine Obergrenze von 40 km. In unmittelbarer Kernnähe konnte durch Beobachtungen im mm-Bereich die Temperatur auf 380 K (ca. 110 °C) bestimmt werden. Die Koma selbst kommt nur auf 110 K (-163 °C).

Bereits in den letzten Dezembertagen 1996 wurde der Komet visuell. Seine Helligkeit stieg danach rapide an und erreichte Anfang April nahe seinem Perihel knapp -1^m , wobei er bedingt durch seine Bahn und die weite Periheldistanz während des gesamten Periheldurchgangs beobachtbar blieb – zirkumpolar, war er sogar durchgehend von der Abend- bis zur Morgendämmerung sichtbar (Abb. 24). Erst Anfang Mai verschwand er für unsere Breiten im Dunst des abendlichen Horizonts.

Beobachtern auf der Südhalbkugel blieb er aber noch einige Wochen erhalten: Die letzten visuellen Beobachtungen gelangen Ende September 1997. Er rangiert damit in der Liste der relativ hellsten Kometen auf Platz 7 nach C/1577 V1 Brahe und dem Halleyschen Kometen mit fünf Erscheinungen. Bei der Absoluten Helligkeit ist er sogar Zweiter nach C/1729 P1 Sarabat! Und die Wissenschaft: Sie verfolgt Hale-Bopp bis heute (siehe Abb. 16). Und obwohl er mit 8.66 AE (1.3 Mrd. km) fast Saturnentfernung erreicht hat, besitzt er immer noch eine Koma von über 1 Mio. km Größe, ein Rekordwert.

Beobachtungen, Entdeckungen

Dieser Komet ist 'halt ein anderes Kaliber als der Halleysche, der möglicherweise nur noch für etwa 30 Periheldurchgänge Wasservorrat hat, Hale-Bopp kann dagegen die Sonne



Abb. 24: Komet Hale-Bopp zirkumpolar tief im Norden 1997 April 8, 0:52 Uhr, Neuhaus/Eifel. Aufgenommen mit Pentax-Weitwinkelobjektiv 35 mm. (Aufnahme des Autors, Film wie vor, 40 s)

noch über 500 Mal passieren. Diesmal hat er in fünf Monaten 1 Meter an Durchmesser eingebüßt, obwohl er zeitweise alle $6\frac{1}{4}$ Sekunden ein ganzes Freibad voll Wasser verdampft hat (625'000 l), das dann mit bis zu 1000 km/s in die Koma expandierte.

Neben den Bestandteilen, die schon bei Hyakutake gemessen werden konnten, fand man bei Hale-Bopp weitere, auch komplexere Moleküle, so z.B. Alkohol, Ameisensäure und Methylformat, Formaldehyd, aber auch Schwefelwasser- und Schwefelkohlenstoff: Kometen stänken erbärmlich, könnte man sie riechen! April 16 wurde dann auch noch ein dritter Schweiftyp entdeckt: ein Schweif mit Natriumteilchen zwischen dem Staub- und dem Ionenschweif, die damals Längen bis zu 300 Mio. km (2 AE) erreichten.

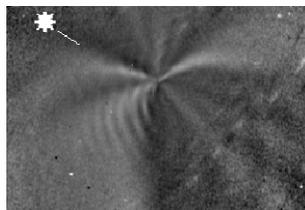


Abb. 26: Komet Hale-Bopp 1997 Febr. 4, 06:00 Uhr UT. Mit speziellen Verfahren sichtbar gemachte Staubschalen. (Obs. Pic du Midi/F)

Schlußbemerkung

Die lebenden Generationen hatten die einmalige Chance, drei herausragende Kometenereignisse erleben zu können, wie sie sich zu unseren Lebzeiten wohl kaum wiederholen dürften. Insbesondere die große Öffentlichkeit, die der Absturz des Kometen Shoemaker-Levy 9 erreichte, hat zusammen mit der Bereitschaft der beteiligten Beobachter, ihre Beobachtungen sofort und ohne Einschränkungen freizugeben, erstmals ein nahezu zeitgleiches Miterleben von Forschung ermöglicht, eine Entwicklung die gerade hierzulande nachvollzogen und gefördert werden sollte. Alles in allem Jahre, die wohl nicht nur dem Autor unvergeßlich bleiben werden.

Anschrift des Autors:

Dr. Jürgen Wirth, Posener Weg 6, 53119 Bonn