

WELTRAUMTELEGRAMM

von Norbert Pailer

Der Kometencrash

Einschläge im Planetensystem sind altbekannte Phänomene. Die vernarbten Planeten- und Mondoberflächen sind davon bereedte Zeugen. Zum ersten Mal in der Geschichte der Astronomie war diesmal jedoch ein einschlagendes Objekt lange im voraus beobachtbar und der Einschlagsvorgang selbst – mit gewissen Einschränkungen – direkt einsehbar. Die Einschlagsstelle der Kometenbruchstücke befand sich 5 - 10° hinter dem von der Erde einsehbaren Bereich (vgl. Abb. 1).

Wissenschaftler, die sich ein Leben lang mit Einschlägen im interplanetaren Raum beschäftigen, redeten vom aufregendsten Ereignis ihres Lebens. „This kind of thing occurs once every thousand or even 10.000 years. Even to be alive when it's happening is special . . . Each (of the 21 pieces) entry will create a tunnel of fire the size of Mexico, as the chunk of cosmic matter flattens like a pancake, falls apart and explodes . . . We've never seen anything hit a planet that is even as big as a house. Several of the Shoemaker-Levi 9 chunks will be as large as small mountains“ (FOLEY 1994). „For the solar system, it might be the most impressive event of the last thousand years,“ sagt einer der Entdecker Gene LEVI in der oben genannten Quelle. Um einen Ein-

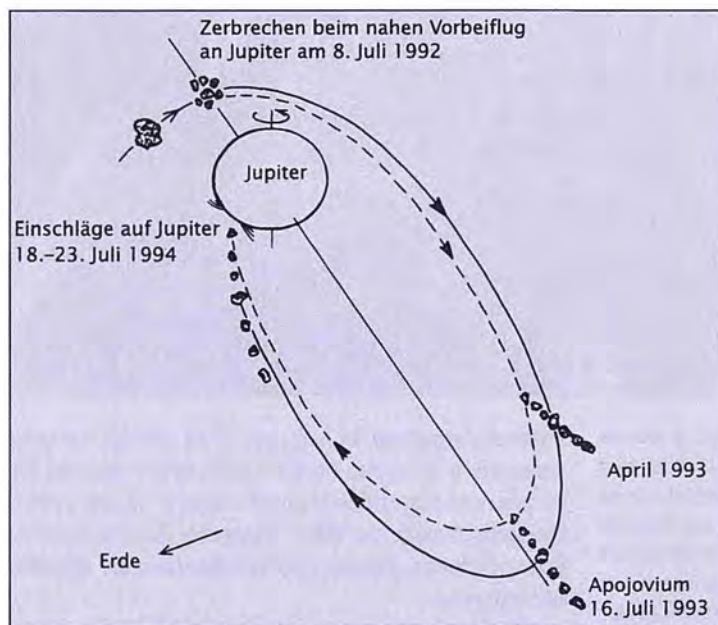


Abb. 1: Der am 25. März 1993 entdeckte Komet soll bereits seit 20-100 Jahren Jupiter umkreist haben, bevor er im Juli 1992 aufbrach. Der Mutterkörper wird auf 5-9 km im Durchmesser geschätzt. So kam eine „kometare Perlenkette“ von 21 Bruchstücken auf Kollisionskurs mit dem Jupiter. Erste Ankunft: 16. Juli 1994, 21 Uhr MESZ.

druck bezüglich der gewaltigen Energien zu geben, sei George RIEKE von der University of Arizona zitiert: „Fragment G (man hat die Bruchstücke nach dem Alphabet geordnet) alone propelled a fireball thousands of kilometers above Jupiter's stratosphere and is thought to have yielded at least six

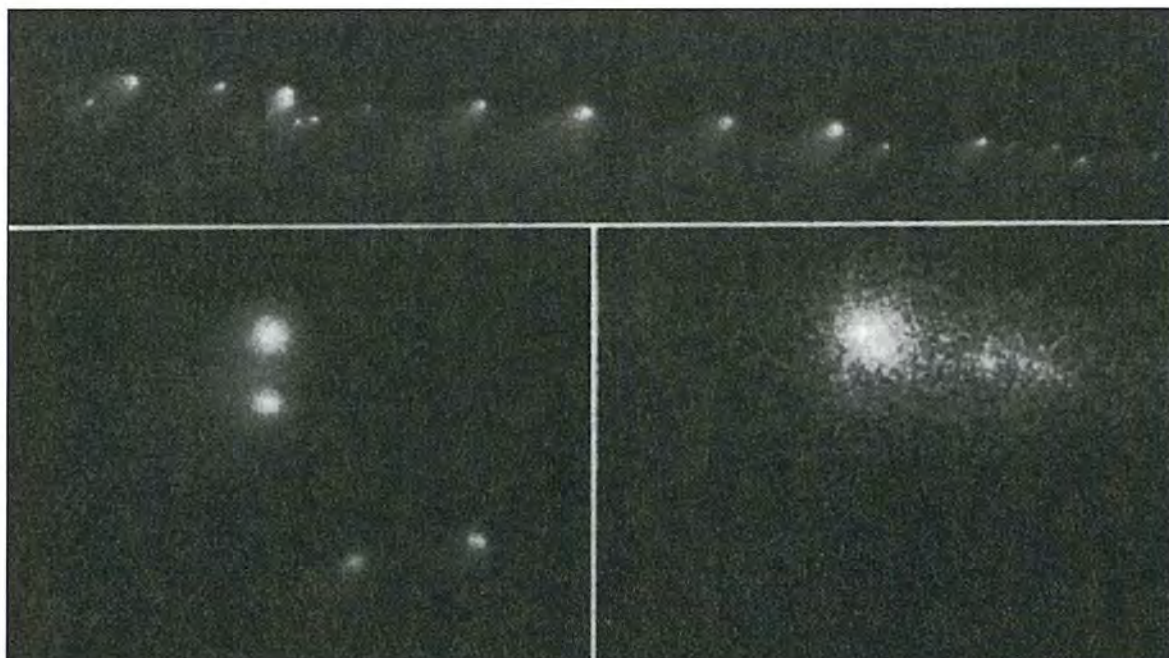


Abb. 2: Einzelheiten der „kometaren Perlenkette“, teilweise mit dem reparierten Hubble Space Telescope aufgenommen. (Space Telescope Science Institute)



Abb. 3: Dieses Apollo 12-Bild zeigt eine Kraterkette im nördlichen Teil des Mare Nubium in Richtung auf den 35 km großen Krater Davy. (NASA)

million megatons of energy. One would have to detonate a Hiroshima-type bomb every second for 10 years to expend that much energy" (RIEKE 1994). Deshalb waren an dem Vorgang Atombomben-Konstrukteure gleichermaßen interessiert wie die Astronomen.

Dennoch war man sich bezüglich des spektakulären Charakters des Vorgangs für die interessierte Öffentlichkeit nicht ganz im klaren. Denn in der Astronomie hat man mit einigen groß angekündigten Ereignissen einige Pleiten erlebt: die Kometen Kohoutek 1974 und Halley 1986 oder der Sternschnuppenschwarm der Perseiden 1993.

Aber am 16. Juli war es dann klar: Hier geht ein riesiges Feuerwerk ab. Das Fragment A hat im 2,3 nm Wellenlängenbereich einen Explosionsblitz ausgelöst, der heller war als der Jupitermond Io. Die erzeugten Gaspilze sind einige hundert Kilometer über Jupiters Horizont geschleudert worden.

Wie alles begann. Im März 1993 wurde der Komet Shoemaker-Levi 9 (SL9) in einer Umlaufbahn um Jupiter entdeckt. Ein paar Monate später hat Brian MARSDEN vom Smithsonian Astrophysical Observatory, Cambridge, Massachusetts, ermittelt, daß der Komet bis auf 95.000 km an das Massenzentrum von Jupiter herankam, wo die Gravitationskräfte stark genug sind, um das Objekt in Bruchstücke zu reißen. Abb. 2 zeigt Einzelheiten der Bruchstücke, die man mit Hilfe des Hubble Space Telescope als „kometare Perlenkette“ aufs Bild brachte. Beim nächsten Umlauf schrumpfte der Abstand auf etwa 30.000 km, was bei einem Radius von Jupiter von etwa 71.000 km heißt, daß das ganze Gebilde mit dem Gasplaneten Jupiter zusammenstößt. Abb. 1 zeigt die entsprechenden Bahnverhältnisse.

Vor seiner Gezeitenspaltung war SL9 ein so finsternes Objekt, daß es einer gezielten Suche jupiternaher Kometen bislang entging, was bei dieser großen Sonnendistanz auch kein Wunder ist. Erst das Zerschneiden des Kerns, insbesondere der dabei freigesetzte, von der Sonne beschienene Staub, ließ

ihn hell genug werden, um entdeckt zu werden. Da die Fragmente schnell nachdunkelten (die Staubwolke sich also bereits verkleinert hatte), entstand bald die Frage nach dem Verbleib von volatilen (leichtflüchtigen) Bestandteilen (s. u.).

Übrigens zeigen Arbeiten an der University of Hawaii, daß Kometen auch ohne Jupitereinfluß zerbrechen. Von 49 systematisch untersuchten Kometen offenbarten gleich drei einen Begleiter. Aus diesem Anteil läßt sich schließen, daß es pro Komet im Mittel alle hundert Jahre zur Abspaltung eines Fragments kommt, was seine Auflösung als Objekt zusätzlich zur sonst üblichen Staubbefreiung beschleunigt. Deshalb haben wir aus heutiger Sicht drei unterschiedliche Vorgänge zu berücksichtigen, wenn die Lebensdauer von Kometen abgeschätzt wird:

- Zersetzung durch Freigabe von volatilen Elementen und Staub besonders in Sonnennähe,
- Aufspaltung von Kometenkernen auf dem Weg durch das Planetensystem,
- Zusammenstöße mit Planeten, deren Monden und Kometenstürze in die Sonne.

Erst die geschlossene Betrachtung oben genannter Vorgänge erlaubt die Ermittlung der Lebensspanne von Kometen. Die neueren Entdeckungen zeigen, daß frühere Abschätzungen der Lebensdauer nochmals zu verkürzen sind.

Einmalig an SL9 ist also nicht das Aufbrechen des Objekts. Es ist auch nicht der anschließende Zusammenstoß mit einem anderen Körper, denn wir kennen perlenkettenähnlich aufgereihete Kraterfolgen



Abb. 4: Dunkel gefärbte Einschlagstelle. (Space Telescope Science Institute)

auch auf den Jupitermonden Ganymed und Callisto. Selbst auf unserem Erdmond (Abb. 3) sind Spuren zu finden, die auf solche Ereignisse zurückgeführt werden. Das Besondere bei SL9 ist, daß aufwendige Beobachtungsprogramme mit Weltraumsonden und bodengestützten Teleskopen im voraus ausführlich zu planen waren und der Einschlagsvorgang selbst zu beobachten war.

Eigentlich erwarteten die Astronomen helle Wolkenpilze; stattdessen wurden dunkle Einschlagsstellen sichtbar. Man rechnete damit, daß helles Wasser- oder Ammoniakis kristallisieren sollte, sobald sich der Feuerball abkühlte. Stattdessen war das kondensierte Material dunkel. Die erzeugten Strukturen wurden als die markantesten Phänomene auf Jupiter bezeichnet, seit Galileo 1610 zum ersten Mal Jupiter mit seinem Teleskop betrachtete. Abb. 4 zeigt beispielhaft eine auffällige Einschlagstelle.

Obwohl die Bruchstücke ähnlich groß waren, hatte jeder Einschlag seine eigene spektrale Kennung und einen unterschiedlichen Zeitverlauf. Dies läßt darauf schließen, daß die Bruchstücke ziemlich

inhomogen waren. Aber die eigentliche Überraschung war, daß kein Wasser nachgewiesen wurde. Man ist der Auffassung, daß Kometen eine Art „schmutzige Schnellbälle“ seien. Alexander DESSLER von der Rice University in Houston, Texas, stellte jedoch fest: „The snowball has no ice“ (BENKA 1994). Es erhob sich die Frage, ob wir es mit SL9 tatsächlich mit einem Kometen oder eventuell mit einem Asteroiden zu tun haben. Wie hätte aber ein Asteroid auf diese Umlaufbahn geraten sollen? Heute ist das Verständnis eher so, daß man den Kometen SL9 für einen alten Kometen zu halten habe, der sein Eis bereits durch vorhergehende Sublimation verloren hatte und bei Jupiter eher als bereits „ausgebranntes Gerippe“ ankam.

Literatur

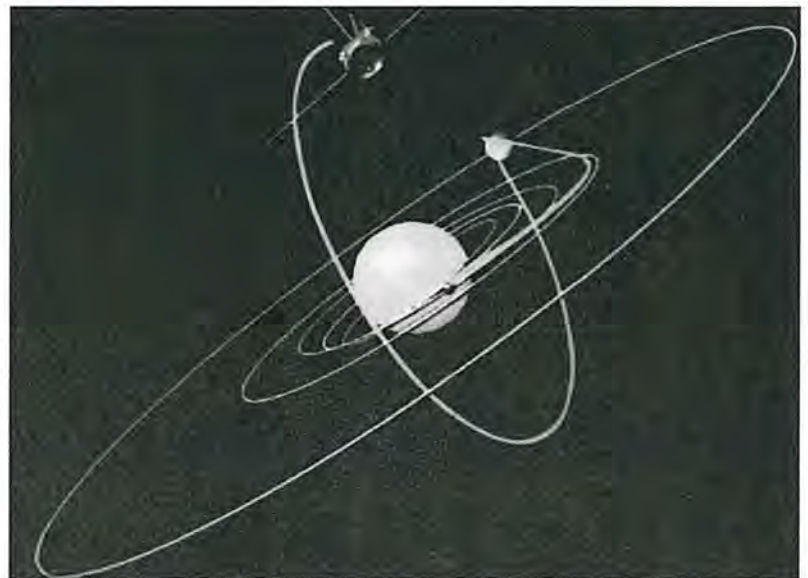
- FOLEY M (1994) Comet heads for collision with Jupiter. *Aerospace America* 3/94.
BENKA G (1994) Astronomers are poised for the crash of '94: Boom or bust? *Physics Today*, June 1994.

ULYSSES: No solar pole

Es war das erklärte Ziel der vor ca. 4 Jahren gestarteten Sonnenmission, zum ersten Mal die Polregionen der Sonne zu untersuchen. Dazu wurde Ulysses mit allen aufwendbaren Antriebsmitteln nach dem Aussetzen aus dem Shuttle-Nutzlastraum derart beschleunigt, daß er zum schnellsten von Menschen gemachten Objekt wurde. Mit Hilfe eines ausgeklügelten Anflugszenarios bei Jupiter wurde Ulysses derart aus der Ebene der Ekliptik (Bahnebene der Planeten) geschleudert, daß er im Sommer letzten Jahres über dem – nun wohl nicht existierenden – Südpol der Sonne zu fliegen kam. Die Flugroute ist in Abb. 1 schematisch dargestellt. Damit hat Ulysses die erste Phase seiner Primärmission erreicht. Die untersuchte Gegend sollte deshalb von besonderem Interesse sein, weil hier kosmische Teilchen und Strahlung ungehindert von außen in unser Planetensystem eindringen sollten.

Die Raumsonde erreichte am 5. November 1994 70° südliche Breite, um sich seither in einem Abstand, der dem der Sonne von der Erde entspricht, über den Äquatorbereich dem Nordpol der Sonne zu nähern. Sie soll den Überflug der Nordpolregion am 19. Juni 1995 beginnen.

So wie der arktische Bereich der Erde etwa 67° nördlich des Äquators liegt, so wurde über theoretische Arbeiten die Lage des Sonnenpols auf einer geographischen Breite von ca. 70° ermittelt. Abb. 2 zeigt das erwartete solare Szenario. Man beachte insbesondere die spiralförmigen Magnetfeldlinien



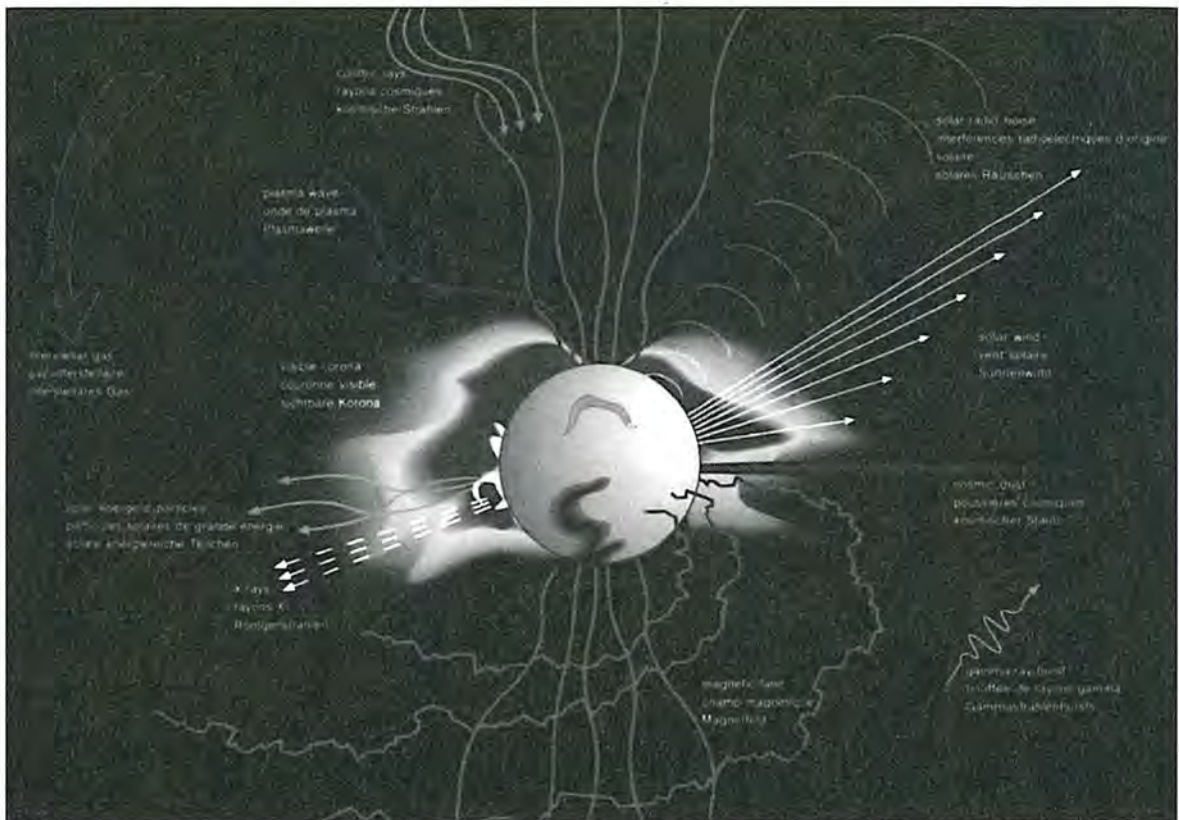
in der Äquatorebene und die gebündelten Magnetfeldlinien an den Sonnenpolen.

Doch die Meßdaten der Sonde warfen die Erwartungen über den Haufen: *New Scientist*, Sept. 1994, stellt fest: „Space scientists have been shocked to discover that the sun appears to have no south magnetic pole ... The field lines were expected to become more bunched and intense as the probe approached the south pole. Instead, the strength of the magnetic field remained absolutely constant.“

Die offizielle Kurzmitteilung der NASA 94-187 kommentiert diese Entdeckung wie folgt: „The way that Ulysses sees the sun's magnetic field is very different from the way it is seen by observation from earth. Measurements from earth show the sun

Abb. 1: Flugroute von Ulysses über Jupiter zum Sonnen-Südpol und -Nordpol; schematisch dargestellt. (ESA)

Abb. 2: Schema des erwarteten solaren Szenarios; man beachte insbesondere die ausgeprägten Polregionen. (ESA)



having a magnetic field with magnetic poles that are not the same as the sun's north and south poles; as the sun rotates, the magnetic poles go around. Ulysses, however, found a uniform magnetic field at the sun and did not detect any magnetic poles. Cosmic ray intensity in this high latitude region increased, but not nearly to the extent that scientists had predicted."

Weitere Überraschungen berichtet „Sterne und Weltraum“ in der Ausgabe Dez. 94:

□ Es war bekannt, daß der Sonnenwind über der „Polregion“ mit rund 800 km/sec etwa doppelt so schnell ist wie in der Äquatorebene. Nun verblüffte, daß seine Quellregion auf der Sonne eine geringere Temperatur hat als die des äquatorialen Sonnenwindes.

□ Über den Sonnenpolen gibt es keine Häufung von Teilchen kosmischer Strahlung aus dem inter-

stellaren Raum. Man hatte erwartet, daß sich hier eine regelrechte Einflugschneise in unser Sonnensystem befinden würde; doch ein Anstieg des Flusses war nicht festzustellen: Die Heliosphäre schirmt auch über der „Polregion“ gut ab.

Viele Monate wird es noch dauern, um aus den verwirrenden Einzeldaten ein neues Bild der Sonne und ihrer Umgebung zu formen und daraus wiederum Schlüsse über das Wesen solar-terrestrischer Beziehungen zu ziehen.

Literatur

- MARSDEN R (1994) No solar pole. New Scientist 09/1994.
Kurzmitteilung der NASA zum Bflug der Polregion
NASA 94-187
Brennpunkt „Sterne und Weltraum“ 12/1994: „Ulysses – Überraschungen über dem Südpol“

Pulsar mit Planeten

„Es ist vollbracht. Die mehr als 100jährige Suche nach einem Planeten außerhalb des Sonnensystems hat ihr Ziel erreicht“ (BASTIAN 1994). Mit diesen pathetischen Worten beginnt „Sterne und Weltraum 7/94“ seinen Bericht über die mutmaßliche Entdeckung eines neuen Planetensystems in 1300 Lichtjahren Entfernung.

Der Millisekundenpulsar mit dem (unvergeßlichen) Namen PSR B1257+12 sendet Radiowellen aus. Wie das Leuchtfeuer eines Leuchtturms erreichen alle 0,0062 Sekunden entsprechende Pulse die Erde. Bereits vor zwei Jahren sind – wenn auch minimale – Schwankungen bekannt geworden. Sie las-

sen sich durch die Gravitationswirkung zweier den Neutronenstern umkreisende Planeten von wenigen Erdmassen erklären. Die Schwerkraft der beiden vermuteten planetaren Begleiter läßt den Pulsar ein wenig um den gemeinsamen Schwerpunkt des Gesamtsystems herumpendeln. Dies führt dazu, daß die vom Pulsar in ungeheurer regelmäßiger Folge abgegebenen Radioblitzte um rund eine tausendstel Sekunde (!) verfrüht bzw. verspätet ankommen. Diese winzige Schwankung wird als Indiz für die Anwesenheit von Planeten gewertet. Aus der sinusförmigen Periodizität wurden ihre Umlaufzeiten von 66 und 98 Tagen abgeleitet. Ihre Massen liegen bei 3,4 bzw. 2,8 Erdmassen; die Bahnneigung beider Planeten ist wahrscheinlich nicht kleiner als 60° (ULBIG 1994).

Abb. 1: Der Stern β -Pictoris mit seiner im Infrarot-Bereich andeuteten Staubscheibe (aus PAILER 1994).

Mit dieser Erklärung werden Messungen gestützt, die man mit dem Infrarotsatelliten IRAS gemacht hat. Besonders bekannt geworden ist die „Staubscheibe“ um β -Pictoris mit einer Gesamtmasse von 1000 Erdmassen, die in Abb. 1 gezeigt wird (PAILER 1994). Im Mai 1991 gelang die Entdeckung silikatischer Konturen im Spektrum des Sternlichts (Abb. 2). Als Quelle für Staubteilchen in zirkumstellaren Scheiben werden Kometen diskutiert.

Die lange und intensive Suche der Astronomen hat damit wohl ihr Ziel zunächst erreicht: Es sind endlich Planeten in den Weiten des Alls gefunden worden. „Sie umkreisen jedoch keinen normalen Stern, sondern einen Millisekundenpulsar. Wenn es einen Ort gibt, an dem die Astronomen ganz bestimmt keinen Planeten erwartet hatten, dann in unmittelbarer Nähe einer Sternruine. Die Entwicklungsgeschichte dieser Objekte ist derart gewalttätig, daß ursprünglich vorhandene Planeten dadurch unweigerlich zerstört worden wären. Sie sind also im Gegensatz zu den kleineren Körpern, die unsere Sonne umkreisen, nicht mit ihrem Muttergestirn zusammen entstanden. Zumindest in diesem Sinne sind es also doch keine normalen Planeten. Ihre Entstehungsgeschichte muß sich fundamental von der unserer Erde und ihrer Geschwister unterscheiden“ (BASTIAN 1994b).

Literatur

- BASTIAN U (1994a) Pulsar PSR 1257 +12: Er hat wirklich Planeten. *Sterne und Weltraum* 7/94, 510.
BASTIAN U (1994b) Die ersten Planeten außerhalb des Son-

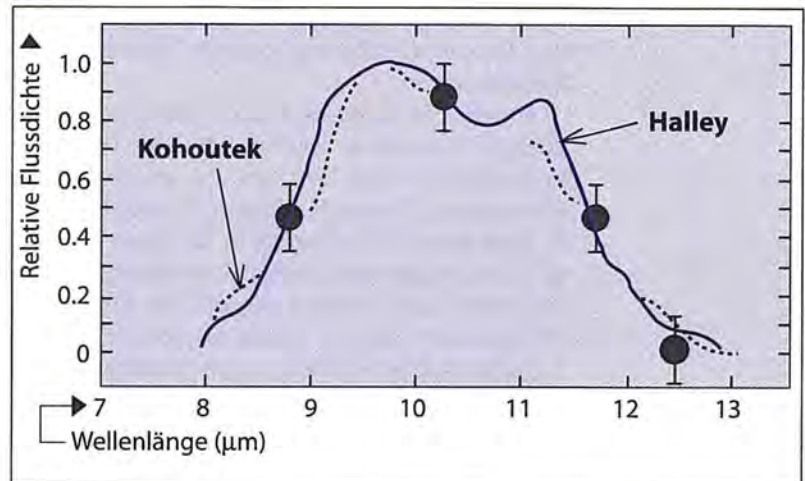


Abb. 2: Vergleich der relativen Flußdichte von β -Pictoris (ausgefüllte Kreise) mit Spektren der Kometen Halley (durchgezogene Linie) und Kohoutek (gestrichelte Linie) (aus PAILER 1994).

nensystems. *Sterne und Weltraum* 11/94, 774-782.

PAILER N (1994) Neues aus der Planetenforschung. *Neuhausen*.

ULBIG S (1994) Pulsar mit Planetensystem: Entdeckung bestätigt. *Physikalische Blätter* 50/94, 638.

Überraschungen bei Tiefbohrung

Im Oktober 1994 hatte die Kontinentale Tiefbohrung bei Windischeschenbach in der Oberpfalz das gesteckte Ziel erreicht: die Bohrphase wurde in genau 9.101 m Tiefe beendet. Im größten geowissenschaftlichen Forschungsprojekt der Bundesrepublik Deutschland wollte man bis zu der Tiefe vorstoßen, in der die Temperatur bei 300°C liegt; neben der Erkundung der Gesteinseigenschaften unter diesen Bedingungen sollten auch die Meßgeräte und die Bohrtechnik diesen extremen Verhältnissen entsprechend konzipiert werden. Nicht zuletzt versprach man sich mit der Beherrschung

des technischen Know-how internationale Konkurrenzfähigkeit bei zukünftigen Projekten. Die bewilligten Finanzmittel für die Zeit von 1984 bis 1994 beliefen sich auf knapp 500 Millionen DM.

Zu Beginn der 80er Jahre waren vier Zielgebiete für eine Tiefbohrung in der Diskussion; ab 1983 konzentrierten sich die Untersuchungen auf den Schwarzwald und die Oberpfalz. Im Herbst 1986 entschied man sich schließlich für die Oberpfalz. Zunächst sollte eine Vorbohrung in 3-5 km Tiefe niedergebracht werden und ab 1989 wollte man in der Hauptbohrung bis in 14 km Tiefe vorstoßen. Im internationalen Vergleich wäre das ein Tiefen-Weltrekord gewesen, denn die bislang tiefste Bohrung auf der Kola-Halbinsel erreichte 12,2 km.

Mit dem Kontinentalen Tiefbohrprogramm (kurz: KTB) war bezweckt, die Nahtstelle zwischen zwei Kontinentblöcken, dem Saxothuringikum (Ur-Europa) und dem Moldanubikum (Ur-Afrika), zu