

Der rätselhafte Ursprung der Kometen

Sind Kuipergürtel-Objekte die Vorläufer von kurzperiodischen Kometen?

KBOs und TNOs. Die Kometen (Schweifsterne) in unserem Sonnensystem lassen sich in zwei Gruppen unterteilen:

- kurzperiodische Kometen mit einer Umlaufzeit unter 200 Jahre
- langperiodische Kometen mit einer Umlaufzeit über 200 Jahre

Die beiden Gruppen unterscheiden sich aber nicht nur durch ihre Umlaufzeiten, sondern auch durch ihre Bahnneigung: Die kurzperiodischen Kometen bewegen sich nahe der Ekliptik (das ist die Ebene, in der sich die Erde um die Sonne bewegt). Die Neigungen der Bahnen der langperiodischen Kometen sind dagegen kugelsymmetrisch verteilt. Kometen sind kurzlebig, da sie in jedem Umlauf einen Teil ihrer Masse verlieren. Nach gängiger Vorstellung über Alter und Entstehung des Sonnensystems muß es daher eine ständige Quelle von neuen Kometen geben. Die Oortsche Wolke gilt als Quelle der langperiodischen Kometen; wir berichteten über den Stand der Forschung in KOREVAAR (2002).

Ein Jahr nach OORT (1950) schlug KUIPER (1951) den nach ihm benannten Kuipergürtel als Quelle der kurzperiodischen Kometen vor. Diese Objekte, auch KBOs genannt (Kuiper Belt Objects) sollten sich nach seiner Vorstellung ringförmig außerhalb der Plutobahn bewegen und durch Störungen unterschiedlicher Art ins Innere des Sonnensystems getrieben werden. Dort sollen sie durch Ausbildung eines Schweifes wegen der größeren Son-

nennähe zum Kometen werden. Der Kuipergürtel galt bis 1992 ebenso wie die Oortsche Wolke als reines Postulat, da die optischen Instrumente noch nicht in der Lage waren, kleinere Objekte in diesen Entfernungen zu identifizieren. Es darf als Zeichen großen technischen Fortschritts gewertet werden, daß 1992 erstmals ein solches Objekt (1992 QW1) in einer Distanz von 44 AE¹ entdeckt wurde. Danach nahm die Zahl der beobachteten Objekte schnell zu; bis heute sind schon fast 900 bekannt. Abb. 1 zeigt die Anzahl der gefundenen Objekte pro Jahr seit 1992. Klar zu sehen ist die Zunahme insbesondere nach 1998, aber ebenso fällt auf, daß seit 2003 weniger neue Objekte gefunden wurden.

In der Literatur wird zwischen klassischen KBOs (CKBOs = Classical KBOs) und zerstreuten KBOs (SKBOs = Scattered KBOs) unterschieden. Ca. 10% aller KBOs sind SKBOs. Der Unterschied liegt in der Bahnexzentrizität und der Distanz des Perihels²: Die SKBOs kommen nahe an die Neptunbahn heran und sind daher auf Dauer gefährdet, durch Neptun aus der Bahn geworfen zu werden (daher die Bezeichnung „zerstreut“). Die CKBOs dagegen bewegen sich auf fast kreisförmigen Bahnen in sicherer Distanz von der Neptunbahn.

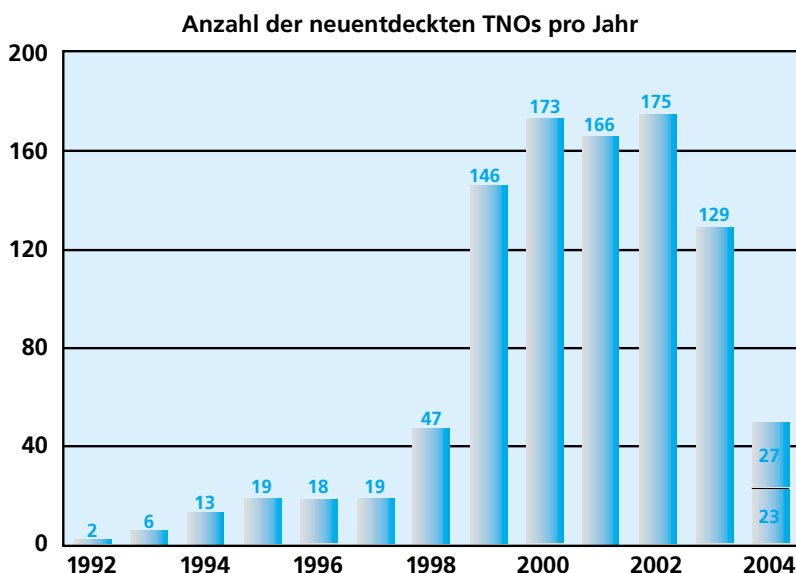
Sind diese Objekte die Quelle der kurzperiodischen Kometen? Sind sie also tatsächlich KBOs oder handelt es sich hierbei lediglich um TNOs (Trans Neptune Objects), also Objekte die sich außerhalb der Neptunbahn befinden? Ein kleiner aber wichtiger Unterschied! Die Bezeichnung TNO betont die Beobachtungen, während die Bezeichnung KBO gleichzeitig eine Deutung enthält (nämlich Quelle kurzperiodischer Kometen zu sein), die noch nachzuweisen wäre. Wir werden daher im Folgenden von TNOs reden.

Beobachtungen und Befunde. Wenden wir uns zunächst den wichtigsten Beobachtungsergebnissen zu, um anschließend einige offene Punkte bezüglich der Interpretation der TNOs als KBOs zu diskutieren.

Beobachtung 1: Verteilung der großen Halbachsen. Die Verteilung der großen Halbachsen ist in Abb. 2 dargestellt. Daraus lassen sich zwei interessante Befunde ablesen:

1. Es gibt ein relativ enges Band zwischen 40 und 50 AE, in dem sich fast alle bislang beobachteten TNOs bewegen.

Abb. 1: Verteilung der Anzahl entdeckten TNOs pro Jahr seit 1992. Der Balken in 2004 ist eine Hochrechnung aufgrund der Anzahl der bis Mitte Juni 2004 entdeckten Objekte. (Minor Planet Center, Cambridge, MA, USA)



2. Es gibt eine Häufung der TNOs bei 40 AE. Dies sind die so genannten Plutinos, die alle dieselbe große Halbachse wie Pluto und damit die gleiche Umlaufzeit besitzen, die 1,5-mal länger als die Umlaufzeit des Neptuns ist und damit eine stabile Resonanz mit Neptun bildet. In diesem Sinne kann man Pluto als großes TNO bezeichnen, siehe auch Beobachtungen 2 und 4.

Beobachtung 2: Ca. 1% der TNOs sind Doppelobjekte. Bislang wurden 8 TNO-„Binaries“ gefunden, das sind jeweils 2 TNOs, die sich umeinander drehen. Dabei ist interessant zu bemerken, daß auch der 9. Planet im Sonnensystem, Pluto, mit seinem Begleiter Charon ein solches Doppel bildet.

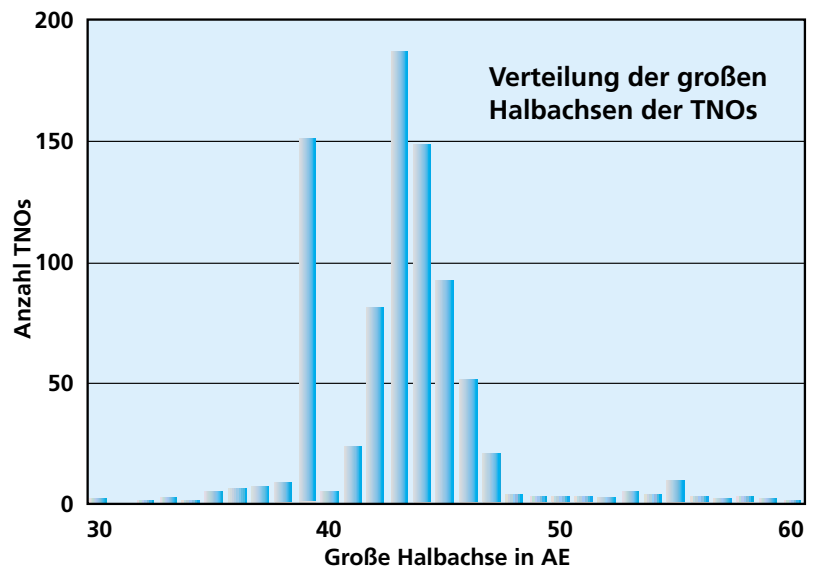
Beobachtung 3: Die TNOs bewegen sich nahe an der Ekliptikebene. Etwa 80% aller TNOs haben eine Bahnneigung von weniger als 15° zur Ekliptikebene. Die Bezeichnung „Gürtel“ ist also zutreffend.

Beobachtung 4: Die Durchmesserschätzungen der TNOs variieren von 100-1000 km. Die Durchmesser der TNOs können nicht direkt gemessen werden. Die scheinbare Helligkeit, der Abstand und Annahmen über die Reflektionsfähigkeit des Materials fließen in die Bestimmung der Durchmesser ein. Hierbei ist Vorsicht geboten, da die Reflektionsfähigkeit von Kometen als Basis genommen wird. Kometenkerne sind sehr dunkel. Sollten aber TNOs aus anderem Material bestehen, sind die geschätzten Durchmesser eher zu groß. Die größten TNOs werden auf 1500 km Durchmesser geschätzt. Sollte dies tatsächlich stimmen, kann man Pluto mit einem Durchmesser von 2300 km zurecht als bislang größtes beobachtetes TNO bezeichnen.

Beobachtung 5: Das Spektrum der TNOs weist auf wasserhaltiges Material hin. Kometen werden manchmal aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung als „schmutzige Schneebälle“ bezeichnet. Spektralanalysen der TNOs zeigen in die gleiche Richtung, es gibt aber wesentliche Unterschiede. Insbesondere sind TNOs eher rot, Kometenkerne eher blau.

Offene Fragen. Die gängige Meinung der Astronomen ist, daß TNOs die Vorläufer der kurzperiodischen Kometen sind. Allerdings werfen die Beobachtungen diesbezüglich eine Menge Fragen auf.

Betrachten wir zunächst die Größe der Objekte: Wenn TNOs tatsächlich zu Kometen werden, sind die Durchmesserschätzungen wahrscheinlich korrekt (siehe Beobachtung 4); damit wären TNOs 10- bis 100-mal größer als Kometenkerne. Es müßte in diesem Fall also einen Prozeß geben, der TNOs zerkleinert. Allgemein wird dabei von Kollis-



sionen ausgegangen. Diese sind aber sehr selten und daher wären dann viel mehr TNOs zu erwarten als bislang beobachtet wurden.

Das klingt zwar plausibel, denn da die Beobachtungen erst seit einigen Jahrzehnten überhaupt möglich sind, konnten demnach erst wenige Objekte entdeckt werden. Dennoch scheinen Abb. 1 und 2 gegen die Existenz einer erheblich größeren Anzahl von TNOs zu sprechen. Abb. 1 zeigt, daß die Anzahl der beobachteten Objekte pro Jahr nicht zu-, sondern eher abnimmt. Eine Nachfrage bei David JEWITT (2004), einem KBO-Spezialisten aus Hawaii, ergab, daß dies an einer geänderten Vorgehensweise bei Neuentdeckungen liegt: Diese werden neuerdings von den Entdeckern zunächst für eigene Untersuchungen genutzt, bevor sie der Öffentlichkeit bekannt gegeben werden. Auch sind die anfänglichen Intensivsuchen vorläufig gestoppt worden, stattdessen wird zur Zeit Pan-STARRS vorbereitet, eine groß angelegte systematische Suche, bei der erwartet wird, daß ab 2007 innerhalb von wenigen Jahren 20.000 neue TNOs gefunden werden könnten. Weitere Informationen dazu, sowie zu KBOs und TNOs allgemein kann man im Internet finden unter <http://www.ifa.hawaii.edu/faculty/jewitt/kb.html>.

So weit so gut. Was ist aber mit Abb. 2? Sie zeigt, daß es in einer Entfernung über 50 AE kaum TNOs gibt. Es kann nicht daran liegen, daß heutige Beobachtungen weiter entfernte Objekte nicht erfassen können. Dann würde die Abnahme nämlich langsamer erfolgen. Wenn es also tatsächlich noch viel mehr TNOs gibt, müssen sie entweder viel weiter weg sein, oder sie müßten viel kleiner sein. Für beides gibt es derzeit keine Hinweise und so müssen wir uns wohl noch ein wenig gedulden, was die geplante Pan-STARRS Suche bringen wird.

Eine weitere Frage wirft die Farbe der TNOs auf. JEWITT (2002) schlägt verschiedene Mechanismen vor, wie sich das Rot der TNOs ins Blau der Kometen verwandeln könnte. Die plausibelste

Abb. 2: Verteilung der großen Halbachsen der Umlaufbahnen der ca. 900 bis dato bekannten TNOs. Deutlich zu erkennen ist die Resonanz bei 40 AE und der abrupte Abfall bei 50 AE. (Minor Planet Center, Cambridge, MA, USA)

Erklärung scheint wohl zu sein, daß die (hier schon vorausgesetzten) Kollisionen die Außenschicht der TNOs abtragen und den Innenbereich offen legen, der chemisch anders zusammengesetzt sein soll. JEWITT gibt aber ehrlicherweise zu, daß die natürlichste Erklärung einfach die wäre, daß Kometen und TNOs nichts miteinander zu tun haben.

Das größte Rätsel der TNOs dürfte aber wohl sein, daß ca. 1% der Objekte als „Binary“, d.h. als doppeltes TNO vorkommt, wobei die beiden Komponenten sogar etwa gleich groß sind. Dies ist ein sehr hoher Anteil, der aus „langsamen Kollisionen“ nicht erklärt werden kann. Man ist sich darüber einig, daß dieser hohe Anteil mit der Entstehung der TNOs zusammenhängen muß. Wie dies geschehen ist, ist aber unklar. Als Modell wird zur Zeit diskutiert, daß die TNOs aus der ursprünglichen Gasscheibe, aus der das Sonnensystem entstanden sein soll, kondensiert sind. Damit wären die TNOs älter als die langperiodischen Kometen, die nach neuesten Theorien im inneren Teil des Sonnensystems entstanden sind und dann von den großen Planeten nach außen geschleudert wurden (WIEGERT 1996). Dieser hypothetische Prozeß ist aber weitestgehend unverstanden, insbesondere erklärt er nicht, warum gerade die Größe von 100-1000 km vorkommen soll, und warum es in über 50 AE Entfernung keine TNOs gibt.

Die Trans-Neptun-Objekte werden
nur deshalb als Kometenvorläufer
betrachtet, weil man keine andere
Erklärung für die Existenz
kurzperiodischer Kometen hat.

Die ungeklärten Fragen zeigen, daß die TNOs noch nicht verstanden sind. Insbesondere ist die Frage, ob die kurzperiodischen Kometen früher

TNOs waren, nach wie vor ungeklärt. Die gängige Wissenschaft ist zwar davon überzeugt, aber, um es mit den Worten von Dave JEWITT (2004) zu sagen: „The main reason is that there is no other plausible source.“ Mit anderen Worten: Die TNOs sind KBOs, nicht weil die Beobachtungen so gut passen, sondern weil man keine andere Erklärung für die Existenz kurzperiodischer Kometen hat. Eine interessante Feststellung, die sehr an das Argument erinnert, warum nach gängiger Meinung der Wissenschaft Evolution wahr sein muß: Es gibt keine andere Erklärung. Oder doch? Vielleicht wäre es an der Zeit, sich für unser Sonnensystem Kurzzeitszenarien auszudenken, die für Kometen, Asteroiden und TNOs eine passende Erklärung bringen.

Peter Korevaar

Anmerkungen

- ¹ Ein AE ist der mittlere Abstand der Erde zur Sonne, etwa 150 Millionen Kilometer.
- ² Das Perihel ist der Punkt der Umlaufbahn, an dem ein Objekt der Sonne am nächsten kommt.

Literatur

- JEWITT D C (2002) From KBO to Cometary Nucleus: The Missing Ultrared Matter, *Astron. J.* 123, 1039-1049.
 JEWITT DC (2004) Persönliche Mitteilung.
 KOREVAAR P (2002) Die rätselhafte Oortsche Wolke. *Stud. Int. J.* 9, 79-82.
 KUIPER GP (1951) *Astrophysics: A Topical Symposium*, ed. J. A. Hynek, New York: McGraw-Hill.
 OORT JH (1950) The structure of the cloud of comets surrounding the Solar System, and a hypothesis concerning its origin, *Bull. Astron. Inst. Neth.* 11, 91.
 WIEGERT PA (1996) The evolution of long-period comets, Doktorarbeit, Univ. Toronto.

Einschränkung durch Evolution?

Unumkehrbare Evolution. „Ein weithin akzeptiertes evolutives Prinzip ist“, so schreiben ZUFALL und Kollegen (2004), „daß adaptive Anpassung die Möglichkeiten zukünftiger evolutiver Anpassungen einschränkt.“ Eine Reihe von Beobachtungen führte bereits 1890 zur Formulierung eines „Gesetzes“, benannt nach dem Paläontologen Luis DOLLO. Dieses Gesetz besagt, daß Evolution nicht umkehrbar ist. Interessanterweise ergibt die relevante Literatur, daß mehr oder weniger ausnahmslos der *Verlust* von Merkmalen diskutiert wird. Dieser an sich

schon interessante Sachverhalt wird nun von ZUFALL und Kollegen (2004) durch ein Beispiel anhand der Blütenfarben bei Windengewächsen konkretisiert. Die Überschrift des Fachartikels in der Zeitschrift *Nature* lautet dementsprechend: „Genetische Veränderungen in Verbindung mit Blütenanpassungen schränken das zukünftige evolutive Potential ein.“

Worum geht es? Winden der Gattung *Ipomoea* haben ursprünglich eine blauviolette Blütenfarbe. Eine kleine Gruppe offensichtlich eng verwandter