

Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 55 (1997)
Heft: 280

Artikel: Wo steckt Komet Tabur? [Fortsetzung]
Autor: Tarnutzer, Andreas
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-898662>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Wo steckt Komet Tabur?

ANDREAS TARNUTZER

In der ersten Folge [8] haben wir gesehen, wie mit Hilfe der fotografischen Astrometrie die jeweiligen Koordinaten eines Kometen ermittelt werden können. In dieser zweiten Folge werden wir versuchen, aus diesen Beobachtungen die Bahnelemente des Kometen zu finden.

Die Bestimmung der Bahnelemente

Kometen stammen aus dem 1 bis 2 Lichtjahre entfernten Halo um unser Sonnensystem, der Oort'schen Wolke. Sie erreichen die Sonnennähe in einer fast parabolischen Bahn. Werden sie durch die Massenanziehung der grossen Planeten «eingefangen», vor allem von Jupiter, so werden sie wiederkehrende – periodische – Kometen in elliptischen Bahnen. Sie können aber auch ganz aus dem Sonnensystem heraus katapultiert werden, in hyperbolischen Bahnen.

Die Bahnelemente eines Kometen – oder eines anderen Himmelskörpers im Sonnensystem – sind Grössen, die die Lage, Form und Grösse seiner Bahn sowie seinen Ort auf dieser Bahn zu einem bestimmten Zeitpunkt festlegen. Welches sind diese Bahnelemente? Bild 4 zeigt sie in räumlicher Darstellung.

Die Erde bewegt sich in einer bestimmten Ebene um die Sonne S, der Ebene der Ekliptik oder Ekliptikebene. Genau genommen ist es der gemeinsame Schwerpunkt von Erde und Mond, der sich in dieser Ebene bewegt. Da der Einfluss des Mondes aber klein ist, wird dies nur für sehr genaue Berechnungen

berücksichtigt. Als Ursprung für die Richtungen innerhalb dieser Ebene dient der Frühlingspunkt Υ (auch Widderpunkt genannt). Es ist dies der Schnittpunkt der Ekliptik mit dem Himmelsäquator, in dem die Sonne zur Frühlings-Tag-und-Nachtgleiche auf ihrer scheinbaren Bahn den Himmelsäquator von Süden nach Norden überschreitet. Wie die meisten Körper des Sonnensystems, bewegt sich die Erde, von Norden gesehen, im Gegenuhrzeigersinn.

Der Komet bewegt sich in einer Ebene um die Sonne, die von derjenigen der Ekliptik verschieden ist. Beide Ebenen schneiden sich unter einem bestimmten Winkel, genannt Neigungswinkel, Inklination oder Bahnneigung i . Rechtläufige (sich im Gegenuhrzeigersinn bewegend) Körper haben Neigungswinkel zwischen 0° und 90° , rückläufige (sich im Uhrzeigersinn bewegend) Körper solche zwischen 90° und 180° . Bild 4 zeigt die Bahn des Kometen Halley, der sich mit $i = 162^\circ$ rückläufig bewegt.

1. Bahnelement: Bahnneigung i

Die Schnittlinie der beiden Ebenen, der Ekliptikebene und der Bahnebene des Kometen, nennt man die Knotenlinie. Der Ort, wo die Kometenbahn von

Süden her kommend die Ekliptikebene durchstösst, wird als aufsteigender Knoten bezeichnet. Die Lage dieser Schnittlinie wird vom Frühlingspunkt zum aufsteigenden Knoten im Gegenuhrzeigersinn gemessen und als Länge des aufsteigenden Knotens oder kurz Knoten W bezeichnet.

2. Bahnelement: Länge des aufsteigenden Knotens Ω

Alle übrigen Bahnelemente beziehen sich nur noch auf die Bahnebene des Kometen

Die nächsten beiden Elemente definieren die Lage des Perihels, also des Ortes, an dem der Komet am nächsten zur Sonne steht. Da ist einmal der von der Sonne aus gesehene Winkelabstand des Perihels vom aufsteigenden Knoten. Er wird mit Argument des Perihels ω bezeichnet.

3. Bahnelement: Argument des Perihels ω

Dann muss noch der Abstand des Kometen von der Sonne im Perihel, seinem sonnennächsten Punkt, bekannt sein. Dieser Abstand wird Periheldistanz q genannt und in astronomischen Einheiten AE angegeben ($1 \text{ AE} = \text{Entfernung Erde-Sonne, rund } 150 \text{ Mio km}$).

4. Bahnelement: Periheldistanz q

Die Umlaufbahn des Kometen um die Sonne wird durch die Exzentrizität e seiner Bahn definiert. Wiederkehrende Kometen haben elliptische Bahnen mit e grösser als 0 und kleiner als 1, solche, die nur einmal bei der Sonne vorbeikommen, also aus den Weiten des Welt-raums stammen, haben parabolische Umlaufbahnen mit $e = 1$. Somit:

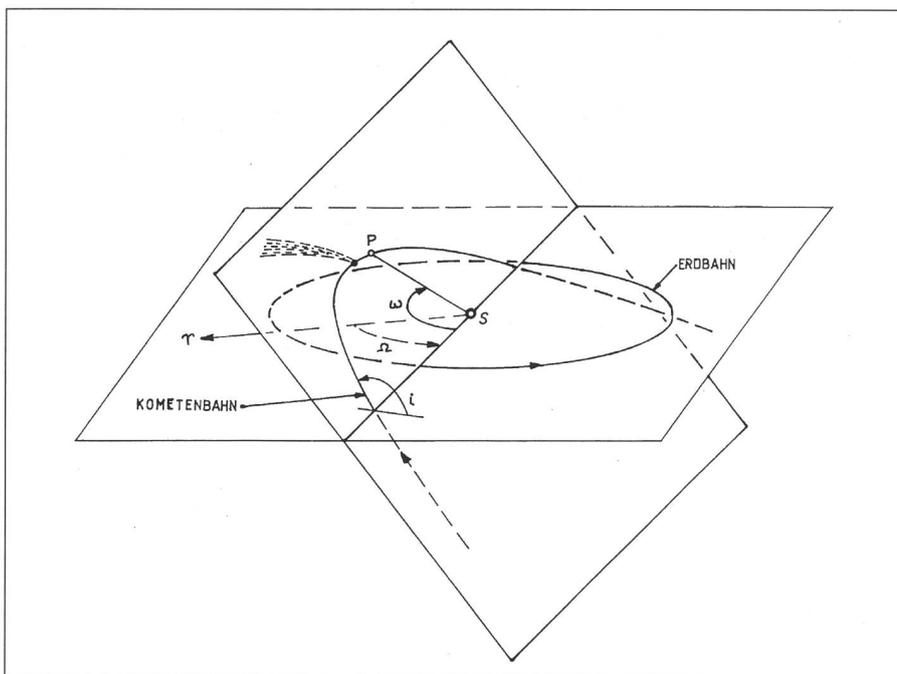
5. Bahnelement: Exzentrizität e

Zum Schluss müssen wir noch wissen wann, zu welchem Zeitpunkt, sich der Komet im Perihel befindet, genannt der Perihel-Durchgang T .

6. Bahnelement: Perihel-Durchgang T

Mit diesen 6 Bahnelementen ist die Lage des Kometen im Weltraum zu jedem Zeitpunkt eindeutig festgelegt. Ganz streng genommen müsste man allerdings noch die Masse des Kometen berücksichtigen. Da diese aber äusserst gering gegenüber derjenigen der Sonne ist, wird sie vernachlässigt.

Jetzt stehen wir vor der Aufgabe, mit Hilfe unserer Beobachtungen und den mit der fotografischen Astrometrie gewonnenen Koordinaten die 6 Bahnelemente zu bestimmen. Jede Beobachtung liefert zwei Angaben, nämlich die Blickrichtung zum Kometen und der zugehörige Zeitpunkt. Um die 6 Unbekannten zu berechnen, brauchen wir also mindestens drei Beobachtungen.



Dabei vernachlässigt man vorerst den Einfluss der übrigen Planeten und erhält so die provisorischen Bahnelemente. Natürlich wird die Rechnung um so genauer ausfallen, je weiter die Beobachtungen zeitlich auseinander liegen.

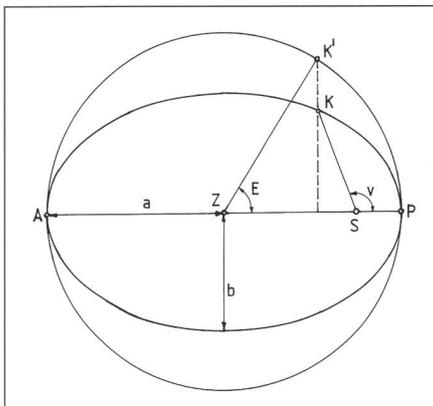
Leider gibt es keine Methode, die Unbekannten direkt zu berechnen. Das Kernproblem für die Berechnung liegt in der Tatsache, dass sich der Komet in seiner Bahn um die Sonne mit unterschiedlicher Geschwindigkeit bewegt. Johannes Kepler fand in seinem zweiten Gesetz, dass der Leitstrahl Sonne-Planet in gleicher Zeit die gleiche Fläche bestreicht. Dieses Gesetz gilt natürlich auch für Kometen. Bild 5 veranschaulicht die Situation. Der Komet umkreist die Sonne in einer elliptischen Bahn, und es ist offensichtlich, dass der Weg des Kometen in der Nähe des Perihels P wesentlich grösser sein muss als in der Nähe des Aphels A, damit der Leitstrahl die gleiche Fläche bestreicht.

Zur mathematischen Beschreibung der Bewegung hat man verschiedene Winkel eingeführt, wie die wahre Anomalie v und die exzentrische Anomalie E . Siehe Bild 5. Zu guter Letzt kommt noch die mittlere Anomalie M ins Spiel. Sie ist der von der Sonne aus gesehene Winkel zwischen dem Perihel und einem gedachten Körper, der sich mit konstanter Geschwindigkeit so um die Sonne bewegt, dass seine Umlaufzeit gleich der des Kometen ist.

Die mathematische Verbindung zwischen der exzentrischen und der mittleren Anomalie wird hergestellt durch die transzendente Kepler'sche Gleichung

$$M = E - e \cdot \sin E$$

oder umgekehrt $E = M + e \cdot \sin E$



A = Aphel P = Perihel Z = Zentrum der Ellipse
K = Komet S = Sonne
K' = Lage des Kometen, nach aussen senkrecht zur Hauptachse A-P auf einen Kreis um das Zentrum der Ellipse projiziert

Exzentrizität $e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$
Winkel v = wahre Anomalie
Winkel E = exzentrische Anomalie

Bahnelement		IAUC 6460	IAUC 6464	Eigene Beobachtung
Datum Perihel	T	1996-11-1.076	1996-11-3.562	1996-11-3.5
Periheldistanz	q	0.78087 AE	0.84202 AE	0.83969 AE
Perihelargument	ω	61.299°	57.234°	57.393°
Länge des Knotens	Ω	27.864°	31.516°	31.385°
Exzentrizität	e	1.0	1.0	1.0
Bahnneigung	i	77.469°	73.234°	73.426°

Tabelle 1

Sucht man M und sind e und E bekannt, hat man keine Probleme. Wird hingegen E gesucht, so gibt es keine Methode zur direkten Berechnung. Man behilft sich so, dass man einen plausibel erscheinenden Wert von E in $\sin E$ einsetzt. Ergibt sich daraus für E der gleiche Wert, so ist das Problem gelöst. Meist erhält man aber einen davon verschiedenen Wert, den man wiederum in $\sin E$ einsetzt. Dies wird so lange wiederholt, bis der eingesetzte und der gefundene Wert E genügend genau übereinstimmen. Hat man einmal E gefunden, lässt sich auch die wahre Anomalie v errechnen.

Das ganze Rechenverfahren ist sehr aufwendig. Man nimmt plausibel erscheinende Bahnelemente an, berechnet damit die Position des Kometen und vergleicht sie mit den beobachteten Positionen. Ist der Unterschied zu gross, versucht man es mit verbesserten Werten, wie oben beschrieben. Diese Prozedur wird so lange wiederholt, bis eine genügende Übereinstimmung der Positionen erreicht wird und man die richtigen Bahnelemente erhält. Es braucht dazu allerdings viel Erfahrung und Fingerspitzengefühl. Als Amateur wird man kaum dazu kommen.

Hier hilft wieder der PC. Das Buch [9] enthält viele Programme, in Basic geschrieben, die in modularer Art aufgebaut sind. Daraus können zwei Programme zusammengestellt werden, die zur Bestimmung parabolischer und elliptischer Bahnelemente dienen.

Bei neu entdeckten Kometen kann man mit einiger Wahrscheinlichkeit annehmen, dass es sich um einen nicht periodischen Kometen handelt, denn sonst hätte man ihn schon früher entdeckt. Ein solcher bewegt sich auf einer fast parabolischen Bahn. Man berechnet also vorerst eine parabolische Bahn, bei der eines der Bahnelemente bekannt ist, nämlich die Exzentrizität $e = 1$. Dies erleichtert die Berechnung der übrigen Elemente. Das Programm verlangt zuerst die Eingabe der Daten von mindestens drei Beobachtungen in ekliptikalen Koordinaten. Dann schätzt man ein plausibles Datum für den Periheldurchgang. Man wählt verständlicherweise

ein solches, das später liegt als dasjenige der letzten Beobachtung, da davon ausgegangen werden kann, dass das Perihel noch bevorsteht. Für die übrigen Bahndaten kann man die vorgeschlagenen Werte übernehmen. Ein Rechendurchgang ohne Änderungen der Daten zeigt in Form eines «absoluten Fehlers» an, wie weit man von der Wirklichkeit liegt, so dass man nötigenfalls verbesserte Ausgangsdaten eingeben kann. Nun lässt man das Programm laufen und kann zusehen, wie der Gesamtfehler zu einem bestimmten Wert konvergiert. Ist dieser noch zu gross, wählt man ein anderes Datum für das Perihel. Man verfährt auf diese Weise so lange, bis das Resultat annehmbar ist. Mit ein wenig Geduld findet man leicht die Zeit des Perihels.

Den Werdegang der Berechnung zeigt Bild 6 anhand von drei Beobachtungen, nämlich der im IAU Circular 6460 publizierten vom 20. August und zwei eigenen vom 17. September und 14. Oktober 1996. Als Perihelzeit wurde vorerst der 1. Oktober 1996 angenommen, was einen absoluten Fehler von 19° ergab. Weitere Versuche führten schliesslich zu einer Perihelzeit von 1996-11-3.5 bei einem Fehler von nur 0.007°.

Tabelle 1 vergleicht diese Bahnelemente mit denjenigen vom IAU 6460 (21. August) und IAU 6464 (30. August).

Für elliptische Bahnen verlangt das Programm primär die Eingabe eines plausiblen Wertes der mittleren Anomalie. Ansonsten ist der Ablauf wie vorher beschrieben.

Damit haben wir die uns gestellte Aufgabe erfüllt. In der nächsten Folge können wir mit den so gewonnenen Bahnelementen die Ephemeriden erstellen.

ANDREAS TARNUTZER

Quellenangabe

- [8] ORION 279
- [9] Peter Duffet-Smith, Astronomy with your Personal Computer. Cambridge University Press 1990, second edition. Siehe Buchbesprechung in ORION 241 (1990)