

Über Sternkataloge in der Kleinplaneten-Astronomie

Mike Kretlow

Einleitung

In praktisch allen Bereichen der Kleinplaneten-Astronomie spielen Sternkataloge eine Rolle, insbesondere in der Astrometrie. Aber auch bei der Vorhersage und Auswertung von Sternbedeckungen durch Asteroiden sind astrometrische Kataloge von zentraler Bedeutung. Hier schlagen sich Differenzen zwischen verschiedenen Katalogen direkt und meist signifikant auf die Vorhersage eines Ereignisses (z.B. dem Bedeckungspfad auf der Erde) nieder. In der Photometrie müssen Sternkataloge und deren Besonderheiten in der Regel bzw. je nach Auswerteverfahren ebenfalls angewendet und berücksichtigt werden.

In der Beobachtungsdatei des Minor Planet Centers (MPC) enthalten die Beobachtungen in Spalte 72 einen Code, der den zur Reduktion der Beobachtung verwendeten Sternkatalog kennzeichnet (sofern er bei der Meldung der Beobachtung angegeben wurde: Zeile NET im Submit Format) [1]. Mit Hilfe dieser Angabe ist Tabelle 1 entstanden.

Sternkatalog (Code)	Anzahl	Anteil
USNO-A2.0 (c)	40,633,106	28.66%
UCAC-2 (r)	30,341,794	21.40%
2MASS (L)	19,837,830	13.99%
USNO-B1.0 (o)	15,175,195	10.70%
UCAC-4 (q)	13,465,535	9.50%
SST-RC4 (R)	10,455,067	7.38%
UCAC-3 (u)	2,996,782	2.11%
USNO-A1.0 (a)	2,194,066	1.55%
USNO-SA2.0 (d)	1,714,734	1.21%
Rest (andere Kataloge)	4,944,400	3.50%
Total: 141,758,509		

Tabelle 1: Verteilung der verwendeten Sternkataloge. Berücksichtigt wurden alle CCD-Beobachtungen von nummerierten und unnummerierten Kleinplaneten (Stand 25.02.2016).

Es ist ersichtlich, dass man rund 90% aller CCD-Beobachtungen in drei "Katalog-Lager" unterteilen kann: die USNO-(A/B)-Kataloge ($\approx 42\%$), die UCAC-(2-4)-Kataloge ($\approx 33\%$)

und den 2MASS-Katalog ($\approx 14\%$). Da die großen Surveys (NEAT, LINEAR, CSS, Pan-STARRS , etc.) den größten Teil der gesamten Beobachtungen stellen, dominieren die dort verwendeten Kataloge auch diese Häufigkeitsverteilung.

Anwendungen

Die Astrometrie von Kleinplaneten dient ja nicht in erster Linie dem Selbstzweck. Sie liefert zunächst einmal die Beobachtungen (Messwerte) für die Berechnung der Objektbahnen und deren Katalogisierung. Aber darüber hinaus gibt es speziellere dynamische Fragestellungen, die grundsätzlich einer Bahnverbesserung gleichen, dabei aber weitere Parameter bestimmt werden. In der Regel beeinflussen Quantität, Qualität (im Sinne von zufälligen wie auch systematischen Fehlern) und Verteilung der astrometrischen Beobachtungen spürbar die erhaltenen Ergebnisse. Die Vorhersage von Sternbedeckungen durch Kleinplaneten, die astrometrische Massenbestimmung von Asteroiden, der Yarkovsky und der YORP Effekt sind Beispiele dafür. Grundsätzlich muss man sich in diesem Zusammenhang bewusst machen, dass die hier genannten Kataloge mehr oder weniger gut ein astronomisches Referenzsystem (z.B. FK4, FK5, ICRS) repräsentieren. Die mit einem bestimmten Katalog reduzierten astrometrischen Beobachtungen stellen gemessene Koordinaten in diesem Katalogsystem dar, dass i.a. seinerseits mit einem astronomischen (fundamentalen) Referenzsystem korrespondiert. Nehmen wir nun den Fall eines über Jahrzehnte beobachteten Kleinplaneten, so haben wir neben all den durch die Beobachtung selbst verursachten Messfehlern weitere systematische Fehler (und zwar sowohl globale als auch lokale) vorliegen, die durch die verwendeten Sternkataloge, dem Wechsel von Referenzsystemen und dergleichen induziert werden. Aus der Sicht eines Bahnrechners ist es hingegen wünschenswert, dass alle vorliegenden astrometrischen Beobachtungen möglichst homogen in Bezug auf zugrunde liegende Referenzsysteme sind, also idealerweise ausnahmslos mit ein und demselben Katalog reduziert wurden. Freilich ist das in der Regel nicht der Fall. Sind die systematischen Differenzen zwischen den einzelnen Sternkatalogen oder zu einem Referenzsystem (z.B. ICRS) bekannt, so können entsprechende Korrekturen an die einzelnen astrometrischen Beobachtungen angebracht werden. Für einige Kataloge liegen solche Korrekturterme vor. Eine weitere Möglichkeit das Beobachtungsmaterial in dieser Hinsicht etwas zu homogenisieren ist, die Beobachtungen nach Katalogen zu gruppieren und nur solche für seine Berechnungen heranzuziehen, die einem bestimmten Katalog (oder einer Gruppe von Katalogen) angehören. Diese einfache Maßnahme kann bereits eine Verbesserung der Resultate bewirken. Tabelle 2 verdeutlicht den Einfluss einer solchen Katalogfilterung auf das Ergebnis einer Massenbestimmung.

Katalogfilter	Erhaltene Masse in Sonnenmassen
Keiner	$(12 \pm 4) E-12$
A2.0, UCAC2	$(5 \pm 2) E-12$
A2.0, B1.0, UCAC2	$(6 \pm 2) E-12$
Unabhängiges Ergebnis von J. Baer (2008)	$(5.7 \pm 1.4) E-12$

Tabelle 2: Berechnung der Masse von (9) Metis aus Störungen auf (29818) Aryosorayya.

Sternkataloge

Im nachfolgenden wird auf einige Sternkataloge eingegangen, die entweder in der Astrometrie häufig vertreten sind bzw. waren (Tabelle 1) und / oder die in der Vorhersage und Auswertung von Sternbedeckungen durch Kleinplaneten Anwendung finden (bzw. fanden). Diese Betrachtung ist nicht vollzählig und auch nicht pauschal als Wertung zu verstehen. Für weitere Informationen zu Sternkatalogen wird u.a. auf die Webseite des Autors verwiesen [2].

USNO A / B

Der USNO-A1.0 Katalog wurde 1996 publiziert und enthält 488,006,860 Objekte bis zu $V \sim 20$ mag mit einer formalen Positionsgenauigkeit von ca. 250 mas (Millibogensekunden). Er entstand aus der Digitalisierung von Sky Survey Platten (POSS, ESO-R, etc.). Zwei Jahre später erfolgte mit dem Nachfolger A2.0 u.a. ein Wechsel von einem Guide Star Catalog basierten Bezugssystem zum ICRS (International Celestial Reference System). Dieser Katalog enthält Positionen und Helligkeiten für 526,230,881 Objekte, jedoch keine Eigenbewegungen.

Der 2003 veröffentlichte Katalog USNO-B1.0 enthält Positionen, Eigenbewegungen und Helligkeiten für 1,042,618,261 Objekte mit einer Positionsgenauigkeit von ca. 200 mas (für J2000). Er entstand ebenfalls aus der Digitalisierung von (Schmidt-) Photoplatten verschiedener Sky Surveys der vorausgegangenen 50 Jahre. Dieser Katalog deckt den gesamten Himmel vollständig bis zu einer Helligkeit von $V \sim 21$ mag ab. Zu beachten ist, dass die mittlere Epoche der Eigenbewegungen um 1975 liegt und die Eigenbewegungen relativ auf einen Zwischenkatalog (YS4.0) bezogen sind und somit nicht im ICRS vorliegen.

UCAC 2-4

Während die USNO-A/B Kataloge aus der Digitalisierung und Vermessung von alten Photoplaten entstanden (USNO Precision Measuring Machine Project), ist UCAC (USNO CCD Astrograph Catalog) ein Produkt eines dedizierten astrometrischen Beobachtungsprogramms. Für die Bestimmung der Eigenbewegungen lieferten jedoch zahlreiche andere Sternkataloge die Positionen der ersten Epoche. UCAC-2 wurde 2004 veröffentlicht und deckte noch nicht den gesamten Himmel ab (-90° bis $+40^\circ$ Deklination). Dieser Katalog enthält für 48 Mio. Objekte im Bereich $R/V \sim 8-16$ mag, deren Positionen und Eigenbewegungen im ICRS mit einer formalen Ungenauigkeit von 20–70 mas vorliegen. Der dann komplette UCAC-3 wurde im Jahre 2009 als Zwischenversion fertig gestellt. Es hat sich bei späteren Untersuchungen herausgestellt, dass UCAC-3 einige Fehler aufweist (insbesondere in den Eigenbewegungen nördlich von -20° Deklination). Die endgültige, vierte Version des UCAC wurde schließlich 2012 veröffentlicht. UCAC-4 enthält über 113 Mio. Objekte des gesamten Himmels im Bereich $R/V \sim 8-16$ mag, für ca. 105 Mio. davon liegen auch Eigenbewegungen vor. Die Genauigkeit der Positionen (im ICRS) wird mit 15–20 mas im Bereich 10–14 mag angegeben. Neben Instrumenten-Helligkeiten findet man hier auch (B, V, g, r, i)-Helligkeiten aus dem APASS-Katalog (AAVSO Photometric All-Sky Survey) für über 51 Mio. Sterne. Diese Katalogserie findet sowohl in der Astrometrie von Kleinplaneten als auch in der Berechnung von Sternbedeckungen Anwendung. Von praktischer Bedeutung ist dabei nur noch der UCAC-4.

2MASS

Der 2003 veröffentlichte 2MASS All-Sky Point Source Catalog enthält 470,992,970 über den gesamten Himmel verteilte Objekte bis zu einer Helligkeit von $V \sim 17$ mag mit einer Positionsunsicherheit von ca. 70-80 mas. Bezugssystem ist das ICRS (die Anbindung erfolgte über den Tycho-2 Katalog). Eigenbewegungen sind nicht enthalten, die Beobachtungsepoche liegt aber nahe dem Jahr 2000. Dieser Katalog wird von Astrometrica nicht direkt unterstützt.

PPMXL

Seit 2010 steht der PPMXL der Astronomischen Rechen-Institutes (ARI) zur Verfügung. Er entstand aus einer Kombination des 2MASS mit dem USNO-B1.0, also zwei tiefreichenden All-Sky Surveys. Da der 2MASS keine Eigenbewegungen enthält, der USNO-B1.0 hingegen nur relative aber nicht absolute Eigenbewegungen, wurden aus beiden Katalogen neue mittlere Örter und Eigenbewegungen im ICRS berechnet. Der Katalog enthält über 900 Mio. Objekte und deckt den gesamten Himmel vollständig bis $V \sim 20$ mag ab. Die Positionsgenauigkeit (zur Epoche J2000) liegt bei 80 bis 120 mas wenn 2MASS Positionen genutzt werden konnten (ca. 410 Mio. Objekte), ansonsten bei 150 – 300 mas. Im Zuge der Generierung des PPMXL entstanden auch Korrekturtabellen zum USNO-B1.0. Damit können B1.0-reduzierte Beobachtungen auf das ICRS transformiert

werden.

URAT

URAT (USNO Robotic Astrometric Telescope Catalog) ist der Nachfolger des erfolgreichen UCAC Projektes. Zum Einsatz kam derselbe Astrograph wie bei den UCAC 2-4 Katalogen, allerdings wurde die CCD Kamera gegen eine größere und empfindlichere ersetzt. Das Projekt startete bereits 2006 / 2007, der Start des Surveys an sich dann im Frühjahr 2012. Seit März 2015 stehen die Daten (18 GB Binärdateien) der ersten Katalogversion, dem URAT-1, öffentlich zur Verfügung [3]. Er wird in Astrometrica [4] ab Version 4.9.1.420 unterstützt. Der Katalog versucht die (zeitliche) Lücke zwischen UCAC-4 und dem erwarteten Erscheinen eines ersten GAIA-Sternkataloges mit möglichst aktuellen und relativ genauen astrometrischen Örtern zu füllen. Der Katalog deckt im wesentlichen den nördlichen Himmel ab und enthält Positionen, Eigenbewegungen (im ICRS) und Helligkeiten für rund 228 Mio. Objekte im Bereich $R \sim 3 - 18.5$ mag. Die formale Unsicherheit der Positionen liegt bei 5–40 mas. Zusammen mit der relativ jungen Beobachtungsepoche und einem recht kleinen systematischen Grundfehler liefert der URAT-1 zur Zeit die beste astrometrische Genauigkeit.

Wesentliche Eigenschaften des URAT-1 Kataloges:

- Beobachteter Katalog (03/2012 – 06/2014) im ICRS.
- 228 Mio. Objekte ($R \sim 3 - 18.5$ mag).
- 4-fach höhere Sterndichte als bei UCAC-4.
- Positionen ca. 5 - 40 mas genau. Systematischer Fehler 5 - 10 mas.
- Eigenbewegungen aus URAT-1 vs 2MASS (mittlere Epoche des 2MASS: $\sim J2000$).
- Fehler in Eigenbewegungen: $\sim 5 - 8$ mas / yr
- 37 Mio. haben APASS Photometrie (B, V, g, r, i).
188 Mio. haben 2MASS Photometrie (J, H, K).
- Problemfälle wie Doppelsterne sind nicht enthalten, aber nicht-stellare Objekte (Asteroiden, Galaxien, Quasare, etc.) => Achtung bei Sternbedeckungen.
- Deckt i.w. nur den Nordhimmel ab (bis Dekl. -15°) plus Pluto-Feld (bis Dekl. -25°).

Aufgrund der relativ geringen Güte der Eigenbewegungen (als erste Epoche wurden die Positionen aus dem 2MASS herangezogen, also um das Jahr 2000) ist zu erwarten, dass für die Epoche um 2018 die Genauigkeit einer Sternposition von URAT-1 mit der aus dem UCAC-4 vergleichbar sein wird. Vorab ist aber eine zweite Version des URAT angekündigt, welche verbesserte Eigenbewegungen enthalten soll und somit diesen Nachteil kompensiert.

Schlussbetrachtung

Nach Planungen der GAIA-Mission werden die gewonnenen Daten stufenweise über die kommenden ca. 6 Jahre veröffentlicht. Wann und in welcher Form GAIA-basierte Kataloge schlussendlich für die Allgemeinheit zur Anwendung in der CCD-Astrometrie oder bei der Berechnung von Sternbedeckungen zur Verfügung stehen, ist nach dem Kenntnisstand des Autors noch nicht bekannt (gegeben). Zur Zeit ist URAT sicherlich eine sehr gute Wahl um diese Lücke zu füllen.

Abschließend noch der Hinweis an Astrometriker: wenngleich die Nennung des zur Astrometrie verwendeten Sternkataloges nicht zu den Pflichtangaben des MPC's zählt (Zeile NET im Header [5]), sollte man sicherstellen, dass diese immer im Header enthalten ist und den Katalog genau spezifizieren (nicht einfach UCAC oder USNO).

Quellen- und Literaturhinweise

- 1: <http://www.minorplanetcenter.net/iau/info/CatalogueCodes.html>
- 2: <http://astro.kretlow.de/?Solar-System---Occultations/About-Star-Catalogs>
- 3: <http://cdsarc.u-strasbg.fr/viz-bin/Cat?I/329>
- 4: <http://www.astrometrica.at>
- 5: <http://www.minorplanetcenter.net/iau/info/ObsDetails.html>