

# Die Kinematik der stellaren 8pc-Sonnenumgebung und ihre Implikationen

Bachelorarbeit aus der Physik  
vorgelegt von Sebastian Eichie  
am 13. März 2014

Astronomisches Institut  
Friedrich–Alexander–Universität Erlangen–Nürnberg  
Betreuer: Prof. Dr. Ulrich Heber





# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>5</b>
<b>2. Stellare Trajektorien in der Galaxis</b> .....	<b>7</b>
2.1 Die Komponenten der Galaxis .....	7
2.2 Das Interstellare Medium .....	9
2.3 Berechnung stellarer Trajektorien .....	12
<b>3. Das 8pc-Sample</b> .....	<b>15</b>
3.1 Zusammenstellung des 8pc-Komplettsamples .....	15
3.2 Kriterien zur Gruppierung in Systeme .....	15
3.3 Berechnung der kinematischen System-Eigenschaften .....	17
<b>4. Geschwindigkeitsverteilung der 8pc-Umgebung</b> .....	<b>19</b>
<b>5. Bedeutende stellare Annäherungen an die Sonne</b> .....	<b>27</b>
5.1 Langzeitentwicklung der Trajektorien des 8pc-Samples .....	27
5.2 Der Abstand zur Sonne .....	45
5.3 Beeinflussung des Sonnensystems durch stellare Annäherungen .....	52
5.4 Gravitativer Einfluss durch Luhman 16 .....	62
<b>6. Echtzeitkarte der 8pc-Sonnenumgebung</b> .....	<b>64</b>
<b>7. Zusammenfassung</b> .....	<b>65</b>
<b>8. Danksagung</b> .....	<b>67</b>
<b>9. Literatur</b> .....	<b>67</b>
<b>Appendix A: Datentabellen</b> .....	<b>73</b>
<b>Appendix B: Erläuterung zur Stokes-Reibung an Interstellarem Gas</b> .....	<b>84</b>
<b>Appendix C: Echtzeitsternkarte</b> .....	<b>85</b>





# 1. Einleitung

Nimmt man sich ein beliebiges Buch über Geologie oder vulkanische Aktivität zur Hand, so wird es mit hoher Wahrscheinlichkeit zum allergrößten Teil von dem Aufbau und den inneren Prozessen der Erde handeln. Ein durchschnittliches populärwissenschaftliches Buch über Planeten konzentriert sich mit hoher Gewissheit auf die acht Planeten unseres Sonnensystems. Allerdings sind Werke über Sterne, welche über Sternbilder und deren Beobachtbarkeit hinausgehen, selten, und sie skizzieren meist nur oberflächlich verschiedene Sterntypen der Galaxis mit einem starken Fokus auf den stellaren Extremen wie Pulsaren und Schwarzen Löchern.

Ein ähnlicher Trend spiegelt sich auch in Fachpublikationen zum Thema stellare Kinematik wieder: Von den 168 Veröffentlichungen seit dem Jahr 2000 auf arXiv.org zu diesem Thema widmen sich gerade einmal fünf Prozent den Sternen der näheren Sonnenumgebung. Von den gegenwärtig über 8000 Publikationen zur Stellar-Astronomie im *Astrophysical Journal* beziehen sich weniger als 250 in ihrem Abstract explizit auf die "solar neighborhood". Diese relative Vernachlässigung der näheren stellaren Nachbarschaft ist wohl mitunter auf die schwere Beobachtbarkeit der an Roten und Braunen Zwergen reichen Umgebungsregion zurückzuführen, in der sich der Anteil der mit dem bloßen Auge sichtbaren Sterne<sup>1</sup> auf weniger als 20 Prozent beläuft.

Während in nahezu allen anderen populärwissenschaftlichen Publikationen zu verschiedenen naturwissenschaftlichen Themenbereichen stets solche Objekte, die uns nahe sind, besonders in den Mittelpunkt rücken - wie die Erde in der Geologie oder unser Sonnensystem in der populärwissenschaftlichen Astronomie - sind daher schon die Namen der fünf sonnennächsten Sterne kaum noch jemandem bekannt, deren Zusammenstellung sich sogar jüngst durch die Entdeckung des binären Systems WISE J104915.57-531906.1 (auch '*Luhman 16*') mit einer Parallaxe von  $495 \pm 5$  mas änderte<sup>[1]</sup>.

In Hinblick auf diese Entdeckung und auf das Hinzukommen verbesserter kinematischer Messdaten für zahlreiche sonnennahe Sterne setzt es sich die vorliegende Arbeit zum Ziel, das nähere stellare Umfeld der Sonne genauer zu beleuchten. Es soll die Kinematik der Sterne in einem Umkreis mit einem Radius von 8 Parsec (entsprechend 26.08 Lichtjahren) um die Sonne untersucht und aus den gegenwärtig zugänglichen Messdaten von Position, Eigenbewegung, Radialgeschwindigkeit und Parallaxe ihre Raumbewegung (um das galaktische Zentrum) in Vergangenheit und Zukunft extrapoliert werden. Dabei wird sich diese Arbeit auf eine reiche Auswahl verschiedenster Kataloge stützen, um aus den kombinierten Daten eine maximale Fülle an kinematischen Informationen über die 8pc-Sonnenumgebung zu erhalten.

Untersuchungen von S. A. Stern (1990) zeigen, dass dem Sonnensystem nahe kommende Sterne durch gravitative Störungen zur Erhöhung der Exzentrizität und Inklination langperiodischer Zwergplaneten und anderer Objekte jenseits des Kuiper-Gürtels führen können. Die am häufigsten zitierte Analyse vergangener und zukünftiger gravitativ bedeutender Annäherungen von Sternen an das Sonnensystem

---

<sup>1</sup> Sterne mit einer geringeren scheinbaren Helligkeit als +6.5<sup>m</sup>.

stammt von García-Sánchez et al. (1999) und basiert ausschließlich auf den Daten des frühen Hipparcos-Katalogs von 1997, der große Lücken in Bezug auf die 8pc-Umgebung aufweist. In diesem Sinn erscheint eine erneute Untersuchung der stellaren 8pc-Sonnenumgebung und ihrer Kinematik unter Verwendung einer umfangreicheren Katalog-Sammlung sinnvoll, sodass die bisher bekannten stellaren Begegnungen des Sonnensystems, die einen nicht vernachlässigbaren Einfluss auf die äußeren Regionen des Sonnensystems ausüben, möglicherweise ergänzt werden können.

## 2. Stellare Trajektorien in der Galaxis

### 2.1 Die Komponenten der Galaxis

Bei der Milchstraße handelt es sich um eine Balkenspiralgalaxie des Typs SBc mit einem Durchmesser von 100000 bis 120000 Lichtjahren <sup>[2]</sup>. Neuesten Schätzungen von Phelps, Nusser & Desjacques (2013) zufolge umfasst sie 100 bis 400 Milliarden Sterne und eine Masse von rund  $4.5 \cdot 10^{12}$  Sonnenmassen; die enthaltenen Sterne werden u.a. allgemein in zwei Klassen unterteilt.

Bei der Population I handelt es sich um junge Sterne hoher Metallizität von über 10% des Metall-Anteils der Sonne mit einer hohen Zahl an leuchtstarken Sternen sowie den daraus hervorgegangenen Weißen Zwergen <sup>[3]</sup>. Sterne dieser Population beschreiben Orbits niedriger Exzentrizität; sie beschränken sich auf die Scheibenregion der Galaxis, in der sie Offene Sternhaufen und schwach gebundene Assoziationen bilden.

Als Population II werden alte Sterne niedriger Metallizität bezeichnet, vornehmlich Zwergsterne früher Spektraltypen und Kugelsternhaufen. Ihre Orbits sind mitunter exzentrisch mit starker Inklination gegen die galaktische Ebene, sodass sie in den sphärischen Regionen der Galaxis wie dem Bulge und dem Halo dominieren.

Ferner kann die Galaxis in drei räumliche Bereiche eingeteilt werden:

#### (i) Der Bulge

Das leuchtstarke Zentrum der Galaxis – der Bulge – dessen mittlere stellare Dichte jene der restlichen Galaxis übertrifft, setzt sich primär aus alten Sternen sehr unterschiedlichen Metallgehalts zusammen. In dem sich radial über 1-5 kpc erstreckenden Gebiet finden aufgrund chaotisch verteilter Orbits häufig starke Interaktionen zwischen Sternen statt, die wie von Clarkson et al. (2011) entdeckt mitunter sogar zur Verschmelzung zu *Blue Stragglers* führen können. Enge Vorbeiflüge von Sternen am zentralen Schwarzen Loch Sgr A\* können diese mitunter aus dem galaktischen Zentrum in äußere Regionen bis hin in die solare Nachbarschaft schleudern – oder wie im Fall der *'hypervelocity stars'* gar aus der Galaxis heraus. Die genaue Struktur des Bulges und seine Herkunft sind nach wie vor Gegenstand aktiver Forschung <sup>[4]</sup>.

Das dieser Arbeit zugrunde liegende Massenmodell der Galaxis, das sich in die in Gl. (1) - (6) aufgeführten Massendichteverteilungen  $\rho$  der Komponenten und deren assoziierte Gravitationspotentiale  $\Phi$  aufspalten lässt, basiert auf Allen & Santillán (1991). Es gilt

$$\rho_{\text{Bulge}}(r) = \frac{3b_b^2 M_b}{4\pi(r^2 + b_b^2)^{5/2}} \quad (1)$$

$$\Phi_{\text{Bulge}}(r) = -\frac{M_b}{\sqrt{r^2 + b_b^2}} \quad (2)$$

mit den Modellparametern  $M_b = 9.50925 \cdot 10^9 M_{\text{Sonne}}$  und  $b_b = 0.23$  kpc.

### (ii) Die Scheibe

Die galaktische Scheibe besteht zu über 85% aus Sternen der Population I. Allgemein erfolgt eine kinematische Unterteilung in Dünne und Dicke Scheibe, auch wenn diese nicht unumstritten ist <sup>[5]</sup>. Diese Einteilung geht zurück auf Gilmore & Reid (1983), die erstmals die stellare Dichteverteilung auf die Summe zweier Exponentialfunktionen mit unterschiedlichen, charakteristischen Skalenhöhen zurückführten. Die an jungen Sternen der Population I reiche Dünne Scheibe beschränkt sich auf die galaktische Ebene mit einer Skalenhöhe von 300 pc; die Dicke Scheibe umgibt diese mit einer Skalenhöhe von ca. 1.5 kpc und im Gegensatz zur Dünne Scheibe besteht sie hauptsächlich aus Sternen der Population II <sup>[6][7]</sup>. Während in der Dünne Scheibe stellare Absolutgeschwindigkeiten von über 200 km/s vorherrschen, sind die Orbits der Dicken Scheibe exzentrischer bei im Allgemeinen geringeren Raumgeschwindigkeiten <sup>[8]</sup>. Jüngere Ergebnisse von Schönrich und Binney (2009) weisen darauf hin, dass der Übergang zwischen Sternen der Dünne und Dicken Scheibe nicht so klar definiert ist wie zuvor gedacht, und dass letztere durch radiale Migration stellarer Materie aus der Dünne Scheibe hervorgegangen sein könnte. Das Gravitationspotential der Scheibe lässt sich analytisch annähern durch

$$\rho_{\text{Disk}}(r, z) = \frac{b_d^2 M_d a_d r^2 + (a_d + 3\sqrt{r^2 + z^2})(a_d + \sqrt{r^2 + z^2})^2}{4\pi (z^2 + b_d^2)^{3/2} (r^2 + (a_d + \sqrt{z^2 + b_d^2})^2)^{5/2}} \quad (3)$$

$$\Phi_{\text{Disk}}(r, z) = -\frac{M_d}{\sqrt{r^2 + (a_d + \sqrt{z^2 + b_d^2})^2}} \quad (4)$$

mit den Modellparametern  $M_d = 6.6402 \cdot 10^{10}$ ,  $a_d = 4.22$  kpc und  $b_d = 0.292$  kpc gemäß Allen & Santillán, (1991).

*(iii) Der galaktische Halo*

In Hinblick auf Sterne besteht der galaktische Halo nahezu vollständig aus jenen der Population II, die sich allein oder in Kugelsternhaufen in hoch-exzentrischen Bahnen um das galaktische Zentrum bewegen. Mit einem Durchmesser von ca. 165000 Lichtjahren schließt der stellare Halo die komplette Scheibenregion der Galaxis nahezu sphärisch ein. Die Bestimmung des Alters des stellaren Halos von 13.5 Milliarden Jahren durch Kalirai (2012) stützt Modelle der Entstehung der Galaxis durch den Einfall von intergalaktischer Materie, die auch die geringe relative Häufigkeit von metall-armen Sternen des Spektraltyps G in der solaren Nachbarschaft im Rahmen des "*G-Dwarf Problems*" erklärt.

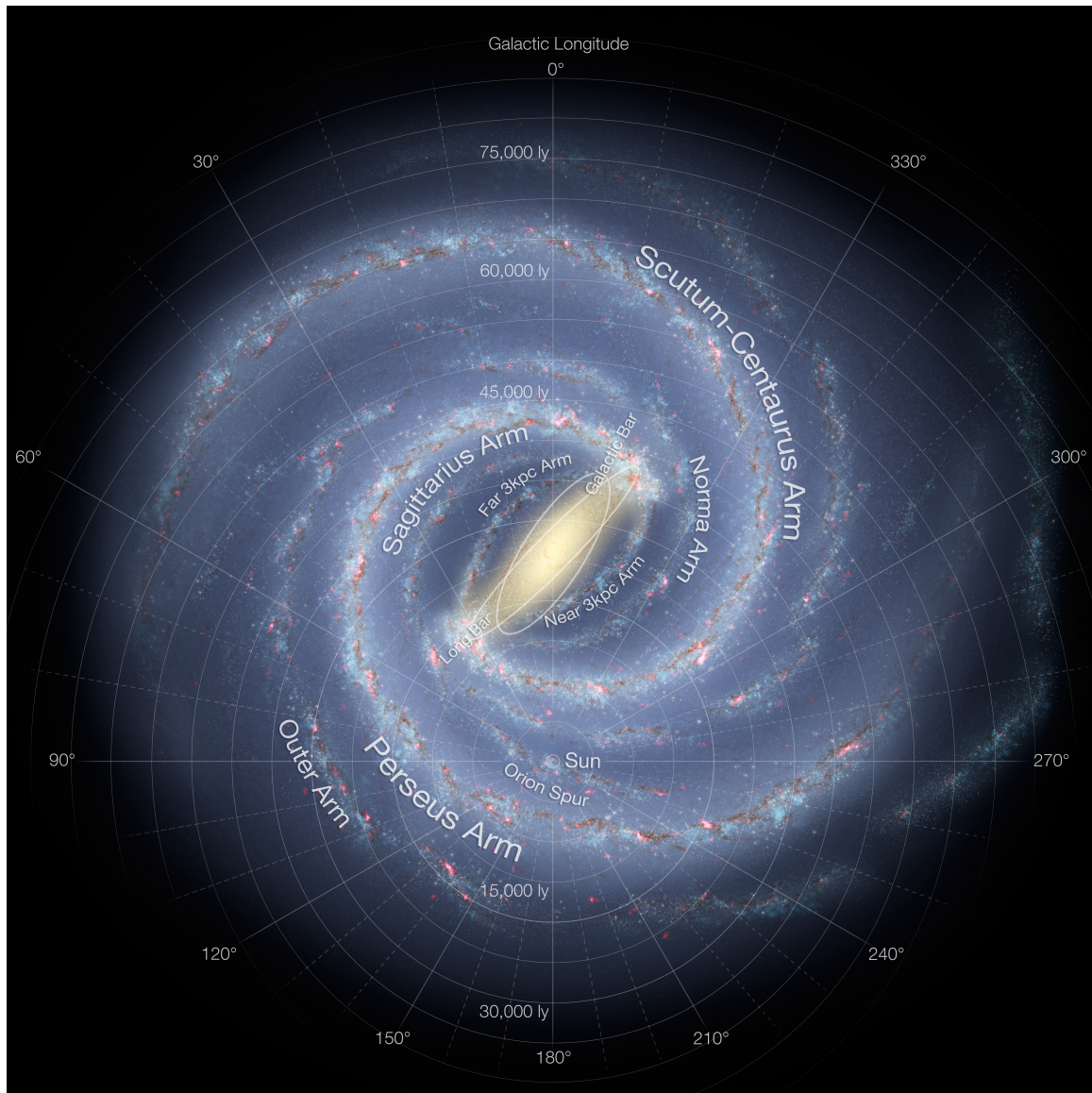
Mit einem Anteil an der galaktischen Masse von 95% handelt es sich bei der Dunklen Materie um den bei weitem dominanten Bestandteil des Halos. Als Modell der Materieverteilung wird

$$\rho_{\text{Halo}}(r) = \frac{M_h}{4\pi a_h} \frac{(r/a_h)^{\gamma-1} (\gamma + (r/a_h)^{\gamma-1})}{r^2 (1 + (r/a_h)^{\gamma-1})^2} \Theta(\Lambda - r) \quad (5)$$

mit einem Gravitationspotential von

$$\Phi_{\text{Halo}}(r) = \frac{M_h}{a_h} \left( \frac{1}{\gamma - 1} \ln \left( \frac{1 + (r/a_h)^{\gamma-1}}{1 + (\Lambda/a_h)^{\gamma-1}} \right) - \frac{(\Lambda/a_h)^{\gamma-1}}{1 + (\Lambda/a_h)^{\gamma-1}} \right) \quad (6)$$

und den Modellparametern  $M_h = 2.36685 \cdot 10^{10} M_{\text{Sonne}}$ ,  $a_h = 2.562$ ,  $\gamma = 2$  und  $\Lambda = 200$  kpc von Allen & Santillán (1991) verwendet.



**Fig. 1:** Die Spiralstruktur der Milchstraße. Credit: NASA/JPL-Caltech/ESO/R. Hurt

Bildquelle: <http://www.eso.org/public/archives/images/large/eso1339e.jpg>

## 2.2 Das Interstellare Medium

Das Interstellare Medium setzt sich primär aus Wasserstoff (90%) und Helium (9%) zusammen. Seine Struktur ist komplex, wobei die Anzahl der zu unterscheidenden Komponenten nicht eindeutig festgelegt ist, da die Grenzen fließend sind. In der Einteilung nach Redfield (2009), die sich insbesondere mit dem im Weiteren relevanten Lokalen Interstellaren Medium im 10pc-Umkreis der Sonne auseinandersetzt, konnte neben geringen Mengen an heißem, koronalen Gas mit Temperaturen zwischen  $10^5$  und  $10^6$  K<sup>[9]</sup> und kaltem Gas mit Temperaturen um 20 K<sup>[10]</sup> hauptsächlich das Warme Neutrale Medium aus HI-Wolken mit einer Temperatur von ca. 6000 K festgestellt werden. Während diese Form der Interstellaren Materie im Mittel nur 10-20% des Gesamtvorkommens in der Galaxis ausmacht, dominiert sie die Nachbarschaft der Sonne.

Die Sonne umkreist das galaktische Zentrum nahe dem äußeren Scheibenrand in einem Abstand von ca. 8.0 bis 8.6 kpc im Orion-Cygnus-Arm <sup>[11]</sup>. Seit schätzungsweise ca. 100000 Jahren und für die nächsten 10000 - 20000 Jahre <sup>[12]</sup> bewegt sich die Sonne durch einen Bereich interstellarer Materie, der als Lokale Flocke (engl. *'local fluff'*) bezeichnet wird und mit 0.3 Teilchen pro Kubikzentimeter eine geringere Dichte als das durchschnittliche interstellare Gas der Galaxis von 0.5 Teilchen pro Kubikzentimeter aufweist. Die Lokale Flocke selbst ist in die Lokale Blase (engl. *'local bubble'*) eingebettet, deren Dichte sich lediglich auf 0.05 Moleküle pro Kubikzentimeter beläuft und die vermutlich durch die Druckwelle einer Supernova-Explosion in diesem Raumbereich vor 10 - 20 Millionen Jahren entstand<sup>2</sup>. Die Bremswirkung der interstellaren Materie auf die Sternbewegung kann quantifiziert werden durch einen Ansatz der Stokes-Reibungskraft

$$F_{\text{Stokes}} = 6\pi r v \eta_{\text{ISM}} \quad (7)$$

mit  $r$  dem Radius der Heliosphäre von ca. 100 AE,  $v$  der Sternengeschwindigkeit relativ zum umgebenden Medium und  $\eta_{\text{ISM}}$  der Viskosität des Lokalen Interstellaren Mediums. Der Berechnung von Spitzer (1941) folgend ergibt sich für die Viskosität

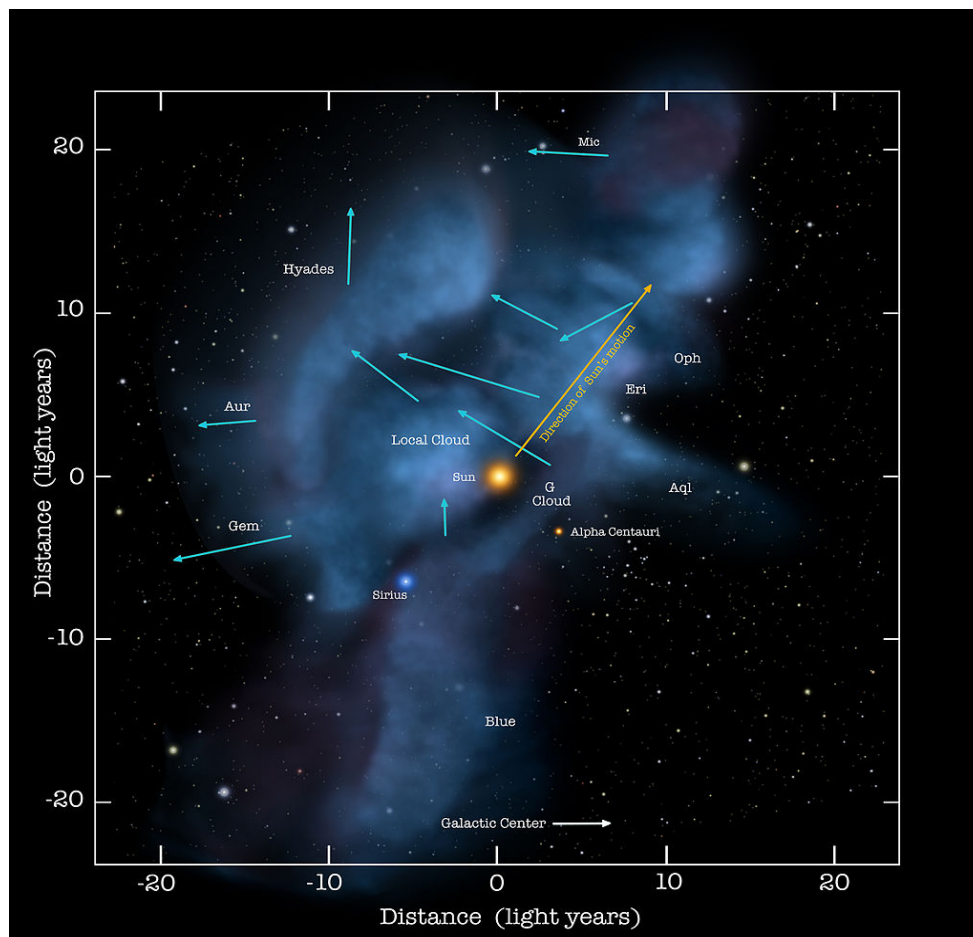
$$\eta_{\text{ISM}} = \rho \lambda \sqrt{\frac{kT m_H}{3}} \quad (8)$$

wobei  $\rho$  die mittlere Teilchendichte pro Kubikmeter von  $3 \cdot 10^{11} \text{ m}^{-3}$  bezeichnet <sup>[13]</sup>,  $\lambda$  die mittlere freie Weglänge für ein Teilchen im interstellaren Medium von  $8 \cdot 10^7 \text{ m}$  <sup>[14]</sup> sowie  $m_H$  die Masse eines Wasserstoff-Moleküls. Mit einer Temperatur von  $T \approx 6000 \text{ K}$  berechnet sich eine Viskosität von  $\eta_{\text{ISM}} = 2.3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ . Obwohl die Relativgeschwindigkeit der Sonne gegen das umgebende Interstellare Medium um eine Größenordnung geringer ausfällt als ihre tatsächliche Raumgeschwindigkeit, werde  $v = 200 \text{ km/s}$  angesetzt, um auch für solche Sterne eine Aussage treffen zu können, deren Raumvektor von jenem der Sonne und dem Lokalen Interstellaren Medium stark abweicht. Unter diesen Bedingungen ergibt sich eine Reibungskraft von  $F_{\text{Stokes}} = 1.3 \cdot 10^{16} \text{ N}$ .

Dies entspricht einem Verhältnis der Reibungskraft zur Gravitation zwischen einem Stern von einer Sonnenmasse und dem galaktischen Zentrum von weniger als  $3.4 \cdot 10^{-6}$  bzw. einer Relaxationszeit typischer stellarer Bewegungen, die das Alter des Kosmos übersteigt (Rechnung siehe Appendix B). Als Konsequenz der geringen Partikeldichte der interstellaren Sonnenumgebung ist folglich kein relevanter Einfluss der interstellaren Materie auf die kinematische Entwicklung von stellaren Orbits um das galaktische Zentrum und vor allem auf Stern-Bewegungen innerhalb der 8-Parsec-Umgebung der Sonne zu erwarten. Da Sterne außerdem im Mittel elektrisch ungeladen sind, erweist sich die Vernachlässigung einer möglichen Wirkung

<sup>2</sup> Krueger & Gruen (2008); der Neutronenstern Geminga könnte den stellaren Überrest dieser Explosion darstellen.

des galaktischen Magnetfelds via Lorentzkraft auf die Bewegung der sonnennahen Sterne als gerechtfertigt. Eine gravitative Beeinflussung von Stern-Trajektorien durch sehr massereiche Molekülwolken kann allerdings in der späteren Langzeitsimulation stellarer Orbits nicht ausgeschlossen werden <sup>[15]</sup>, muss aber mangels verfügbarer Daten und im Sinn der Anwendbarkeit einfacher Gravitationspotential-Modelle im Rahmen dieser Arbeit vernachlässigt werden.



**Fig. 2:** Lokale Wolkenstruktur des Interstellaren Mediums. Credit: NASA / Goddard / Adler / U. Chicago / Wesleyan.

Quelle: [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/sunearth/news/gallery/solar-journey.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/news/gallery/solar-journey.html)

## 2.3 Berechnung stellarer Trajektorien

Eine Beschreibung der Raumbewegung eines stellaren Objekts erfolgt in den gängigen (verwendeten) Sternkatalogen über die Angabe der jeweiligen Parallaxe sowie der kinematischen Größen Eigenbewegung und Radialgeschwindigkeit. Das verwendete Verfahren zur Umrechnung in kartesische Koordinaten wurde detailliert beschrieben von Johnson & Soderblom (1986).

Für den weiteren Verlauf der Arbeit wurde eine Beschreibung der Geschwindigkeiten in rechtwinkligen galaktischen Koordinaten gewählt, da diese eine direktere Ableitung kinematischer



Eigenschaften erlaubt (s. Abschnitt 4). Die z-Achse ist dabei parallel zum Rotationsvektor der galaktischen Scheibe orientiert und weist in die Richtung des galaktischen Nordpols. Die x-Achse wird definiert als der auf die Scheibenebene projizierte Abstandsvektor von der Sonne zum galaktischen Zentrum, während die y-Achse senkrecht auf den beiden anderen steht. Der Ursprung des Koordinatensystems fällt mit dem galaktischen Zentrum zusammen. In diesem Rahmen ist zwischen drei Geschwindigkeitskomponenten zu unterscheiden: Der Radialgeschwindigkeit relativ zum galaktischen Zentrum  $U$ , der dazu senkrechten Rotationsgeschwindigkeit  $V$  um das galaktische Zentrum und der senkrecht auf der galaktischen Ebene stehenden Komponente  $W$ , die sich über Gl. (9) - (11) aus den kartesischen Geschwindigkeitskomponenten berechnen

$$U = \frac{xv_x + yv_y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (9)$$

$$V = \frac{yv_x - xv_y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \quad (10)$$

$$W = v_z \quad (11)$$

Die Bewegung von Sternen im gegebenen Gravitationspotential der Milchstraße kann in Form von gekoppelten Bewegungsgleichungen aus der Euler-Lagrange-Gleichung hergeleitet werden über

$$L(r, \dot{r}, \phi, \dot{\phi}, z, \dot{z}) = \frac{1}{2}(\dot{r}^2 + (r\dot{\phi})^2 + \dot{z}^2) - \Phi(r, \phi, z) \quad (12)$$

mit den zu lösenden Bewegungsgleichungen für die kanonischen Impulse

$$\dot{p}_r = \frac{p_\phi^2}{r^3} + \frac{\partial \Phi}{\partial r} \quad (13)$$

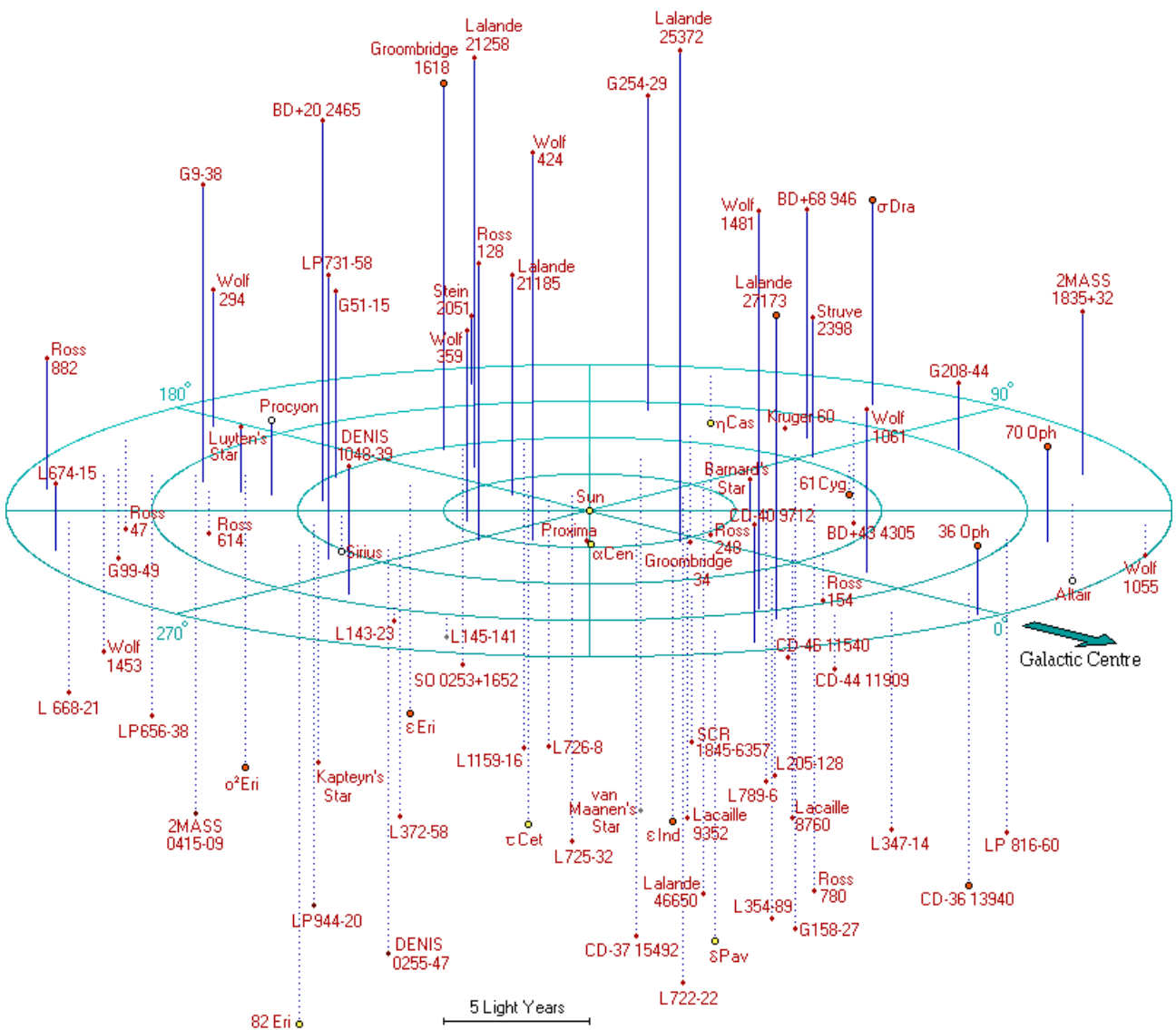
$$\dot{p}_\phi = \frac{\partial \Phi}{\partial \phi} \quad (14)$$

$$\dot{p}_z = \frac{\partial \Phi}{\partial z} \quad (15)$$

gemäß Fink (2013). Die Verwendung eines zylindrischen Koordinatensystems erleichtert dabei die Lösung der sich ergebenden gekoppelten Differentialgleichungen, da die sich aus bezüglich der galaktischen Nord-

Süd-Achse rotationsinvarianten Komponenten zusammengesetzte Massenverteilung der Milchstraße ein Gravitationspotential hervorruft, das die gleiche Symmetrie aufweist.

Für die Modellierung des zeitlichen Verlaufs von stellaren Trajektorien im Gravitationspotential  $\Phi$  wurde mit dem *Orbitcalculator* ein von Dipl.-Phys. Andreas Irrgang (Dr. Remeis-Sternwarte, Bamberg) entwickeltes Programm verwendet, das die Bewegungsgleichungen Gl. (13) - (15) in einem Runge-Kutta-Verfahren vierter Ordnung numerisch löst. Um den Rahmen dieser Arbeit nicht zu sprengen, sei für eine ausführlichere Darstellung der verwendeten Modelle und ihrer Herkunft auf Irrgang et al. (2013) verwiesen.



r powell

**Fig. 3:** Überblick über die stellare Sonnenumgebung innerhalb von 20 Lichtjahren auf dem Stand des Jahres 1999. Zu den 109 Sternen und 8 Braunen Zwergen in den abgebildeten 83 Systemen wurden seitdem noch eine Reihe weiterer Sterne in der solaren Nachbarschaft entdeckt. Bildquelle: <http://www.atlasoftheuniverse.com/w20lys.html>, Copyright: Richard Powell.

## 3. Das 8pc-Sample

### 3.1 Zusammenstellung des 8pc-Komplettsamples

Die Auswahl der Sterne des verwendeten 8pc-Samples basierte auf den Simbad-Daten (<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad>) mit Stand vom 01.01.2014. Nachdem ein erster Versuch alle Sterne innerhalb eines Umkreis von 8pc um die Sonne mit der Simbad-eigenen Kriterien-Suche nach Sternen mit Abständen von weniger als 8pc zu finden fehlschlug, vermutlich da fehlende Abstandsdaten in Simbad als Distanz von 0 pc geführt werden, konzentrierte ich mich auf das Äquivalent-Sample aller Sterne mit Parallaxen über 125 mas, das sich für Simbad-Standards als weitgehend fehlerfrei erwies. Die so erhaltene vorläufige Liste von 211<sup>3</sup> Sternen wurde anschließend in Hinblick auf mögliche Fehleintragungen gesichtet. Ausgeschlossen wurden die Sterne HIP 82724 aufgrund einer früheren fehlerhaften Parallaxenmessung <sup>[16]</sup>, HIP 114110, bei dem es sich um kein physikalisches Objekt handelt <sup>[17]</sup> und BY Cru, bei dessen Parallaxe von  $181.26 \pm 44.81$  mas mit hoher Sicherheit eine Fehlbestimmung durch Van Leeuwen (2007) vorliegt, da BY Cru angeblich mit einem Stern der Parallaxe  $1.79 \pm 1.71$  mas ein binäres System bildet und diese Entfernung mit früheren Parallaxenmessungen von  $1 \pm 1$  mas verträglicher ist. Die endgültige Liste von Sternen, die ich in mein Sample aufnahm, reduzierte sich so minimal auf 208 Mitglieder.

### 3.2 Kriterien zur Gruppierung in Systeme

Als nächstes widmete ich mich der Einteilung der Sterne in gebundene Doppel- bzw. Mehrfachsysteme. Während die auf räumlicher Nähe zweier Sterne und einer hinreichenden Ähnlichkeit ihrer Eigenbewegungen bzw. Radialgeschwindigkeiten basierende Einteilung der Simbad-Datenbank bereits eine relativ verlässliche Orientierungshilfe darstellt, entschied ich mich dazu, einen eigenen Algorithmus zur Prüfung der gravitativen Bindungsverhältnisse von Mehrfach-System-Kandidaten zu entwickeln. Dies schien schon allein deshalb notwendig, da in Simbad jegliche Angaben über die verwendeten Einteilungskriterien fehlen, die eine objektive Überprüfung möglich machen würden. Des Weiteren erwiesen sich die Geschwindigkeits-Datensätze für die meisten möglicherweise in Mehrfachsystemen gebundenen Sterne als derart lückenhaft, dass der einzig eindeutige Weg zur Bestimmung einer möglichen physikalischen Bindung zwischen scheinbaren Doppelsternen durch eine explizite Evaluation mittels den Kepler-Gesetzen nicht realisierbar war.

---

<sup>3</sup> Die Differenz von 15 Sternen zur in Simbad geführten Gesamtzahl 226 ergibt sich aus der dortigen separaten Auflistung von Mehrfachsystemen und ihren Komponenten. Ist von "Sternen" die Rede, so seien hier wie im Folgenden stets die in Simbad geführten Einzelobjekte gemeint, auch wenn es sich bei diesen mitunter um nicht aufgelöste binäre Systeme o.ä. handelt.

Man betrachte ein sphärisches Volumen  $V$  mit Radius  $r = 8\text{pc}$ , in dem die 208 Sterne des Samples zufällig verteilt sind. Ist ihre gravitative Wechselwirkung vernachlässigbar, entspricht die Wahrscheinlichkeit  $p$  zwei bestimmte Sterne in einem Abstand  $d$  voneinander vorzufinden

$$p(d) = d^3 / (8\text{pc})^3 \quad (16)$$

Zwei Sterne werden nun als in einem System gebunden klassifiziert, wenn  $p(d) < 5\%$  gilt, d.h. ein 2-Sigma-Kriterium erfüllt ist; in diesem Fall liegt die Wahrscheinlichkeit unterhalb 5 %, dass sich zwei Sterne auf diesen Abstand annäherten, ohne dass eine starke gravitative Wechselwirkung dafür verantwortlich wäre. Um diesen Fall als klares Anzeichen für ein vorliegendes gebundenes Mehrfachsystem zu werten, muss eine entscheidende Annahme gemacht werden: Stellare Begegnungen, bei denen Sterne zwar gravitativ stark wechselwirken, sie aber keine Bindung aufweisen, müssen in ihrer Häufigkeit vernachlässigbar sein. Mit einer ungefähren Rate von weniger als 5 Systemen pro  $10^6$  Jahren, die gemäß Schätzungen von García-Sánchez et al. (1999) einem Stern in der Sonnenumgebung näher als 1pc kommen, erweist sich diese Annahme zumindest in der Sonnenumgebung als gerechtfertigt.

Nachdem alle Sterne untereinander gemäß dem dargelegten Kriterium auf ihre Bindungsverhältnisse geprüft worden sind, wurden in einem zweiten Schritt zur Gegenkontrolle auch ihre Eigenbewegungen bzw. Radialgeschwindigkeiten gesichtet, um eventuell große Abweichungen der Werte zwischen den vermeintlichen Systemkomponenten als Anzeichen für eine unwahrscheinliche gegenwärtig auftretende sehr nahe Begegnung nicht-gebundener Sterne zu identifizieren.

Mit dem u.a. von Mason et al. (2012) genannten *Her 5* wurde ein vermeintliches System identifiziert, für das die Eigenbewegungen der beiden vorgeschlagenen Komponenten EV Lac und CCDM J22468+4420 BC aus dem Katalog von Van Leeuwen (2007) bzw. Roeser & Bastian (1988) selbst unter Berücksichtigung der jeweiligen 3-Sigma-Grenzen keinen Überschneidungsbereich aufweisen. Sollten die Katalog-Daten nicht für mindestens eine Parallaxe oder ein Set von Eigenbewegungen der vorgeschlagenen Komponenten einen noch nicht angegebenen ausschlaggebenden systematischen Fehler aufweisen, so handelt es sich bei Her 5 möglicherweise um ein hyperbolisches Binärsystem in nächster Sonnenumgebung. Ferner lieferte das verwendete Einteilungsschema Hinweise darauf, dass es sich bei den Sternen TYC 1723-143-1 und GSC 01723-00061, die in Simbad noch nicht als binäres System identifiziert sind, tatsächlich um ein gebundenes Paar handelt.

Bis auf das System STF 2398 AB, das laut dem verwendeten Schema noch eine Bindungswahrscheinlichkeit von 93.1% aufweist und in diesem Sinn ebenfalls als System eingestuft wurde, entschied ich mich dazu den Status aller weiteren durch das verwendete Klassifikationsschema nicht bestätigten Einteilungen von Simbad von der Existenz von Publikationen abhängig zu machen, welche die in Simbad dargestellten Bindungsverhältnisse ausdrücklich bestätigen. Explizit handelt es sich dabei um folgende Systeme bzw. Paper:

- GJ 643 zu System GJ 643/644:  
Ségransan D., Delfosse X., Forveille T., et al., 2000 *Astron. Astrophys.*, 364, 665-673
- HD 79210 und HD 79211:  
Chang K., 1972, *Astron. J.*, 77, 759-761  
Morbey C. L., Griffin R. F., 1987, *Astrophys. J.*, 317, 343-352
- HD 131976 und KX Lib:  
Burgasser A. J., Kirkpatrick J. D., Cutri R. M., et al., 2000, *Astrophys. J.*, 531, L57-L60
- HD 155886 und HR 6401:  
Cayrel de Strobel G., Lebreton Y., Perrin M.-N., Cayrel R., 1989, *Astron. Astrophys.*, 225, 369-380
- BX Cet und PMSC 02307+0626:  
Tokovinin A. A., 1997, *Astron. Astrophys., Suppl. Ser.*, 124, 75-84
- System GJ 563.2:  
Oppenheimer B. R., Golimowski D. A., Kulkarni S. R., et al., *Astron. J.*, 121, 2189-2211
- System LDS 6334:  
Van Biesbroeck, G., 1961, *Astron. J.*, 66, 528-530

Eine vollständige Liste aller 208 Sterne und der 161 Systeme, die so letztendlich für die kinematischen Untersuchungen gewonnen wurden, findet sich in Appendix A.

### 3.3 Berechnung der kinematischen System-Eigenschaften

Nachdem die 208 Einzelsterne des ursprünglichen Samples in 161 Systeme gruppiert wurden, erfolgte die Berechnung der Systempositionen und Geschwindigkeiten auf Basis der jeweiligen Daten der Systemkomponenten. Zu diesem Zweck wurde jedes System mit seinem Schwerpunkt assoziiert und über Geschwindigkeiten bzw. Positionen der Systemkomponenten mit deren Masse und dem Kehrwert der entsprechenden 1-Sigma-Fehler gewichtet gemittelt.

$$\langle q \rangle = \sum_i \frac{m_i}{\Delta q_i} q_i \quad (17)$$

mit  $q$  der Radialgeschwindigkeit, der Eigenbewegung in Rektaszension, der Eigenbewegung in Deklination, der Parallaxe oder den Ortswinkeln von Rektaszension oder Deklination. Dieser Ansatz ist gerechtfertigt durch die näherungsweise Linearität der einzelnen Größen, da die betrachteten Ortswinkeldifferenzen zwischen den Systemkomponenten in äquatorialen Komponenten bzw. die Parallaxendifferenzen für gebundene Systeme hinreichend klein sind.

Die Abschätzung der stellaren Massen  $m_i$  erfolgte auf Basis der in den verwendeten Katalogen angegebenen Spektraltypen und den Spektraltyp-Sternmassen-Korrelationstabellen von A. N. Cox (1999) und für den Spektraltyp M zusätzlich mittels der Umrechnungen von Baraffe & Chabrier (1996), deren Massenäquivalentwerte zu gleichen Spektraltypen gemittelt wurden, um anschließend für jeden Spektraltyp einen linearen Fit vorzunehmen (s. Tabelle 1). Die Masse eines Hauptreihen-Sterns des Spektraltyps  $i$  und der Unterklasse  $k$  in Sonnenmassen sei im folgenden gegeben durch

$$m_i(k) = a_i k + b_i \quad (18)$$

mit einer Standardabweichung von  $\Delta m_i = 0.2 \cdot b_i$  unter Berücksichtigung einer generischen Unsicherheit von ca. 15% der einem Spektraltyp zugeordneten Maximalmasse <sup>[18]</sup>, die in Gl. (18) mit dem jeweiligen Parameter  $b_i$  identifiziert werden kann. Lagen bereits Messdaten für Kenngrößen des Gesamtsystems vor, so wurden diese wo möglich ebenfalls gemäß Gl. (17) mit dem Ergebnis der gewichteten Kenngrößen-Mittlung der Komponenten zusammengefasst. Auf diese Weise konnten die zum Teil sehr unvollständigen Messwerte für zahlreiche einzelne Sterne zu weitaus genaueren kinematischen Datensätzen für ein finales Sample zusammengefasst werden. Durch die Berücksichtigung der Bindung der Systeme ist auch eine mögliche Fehlerquelle für kinematische Abschätzungen über längere Zeiträume behoben, die aus dem Auseinanderdriften von Einzelsternen resultieren würde, die eigentlich in einem festen System an einen einzelnen gemeinsamen Schwerpunkt gebunden sind.

**Tab. 1:** Fitparameter für die in Gl. (17) dargestellten Spektraltyp-spezifischen Massenfunktionen.

Spektraltyp	a	b
M	-0.057	0.509
K	-0.024	0.79
G	-0.026	1.05
F	-0.04	1.60
A	-0.18	2.9

Schließlich konnte der aus dem Simbad-Rohsample hervorgegangene endgültige System-Datensatz (siehe Appendix A) letztlich noch in drei Sub-Samples basierend auf der Qualität der vorliegenden kinematischen System-Daten eingeteilt werden.

- Sample A (Größe 96 / 161 Systemen) umfasst all die Systeme, für die für alle relevanten Eigenschaften (Position, Eigenbewegung, Parallaxe und Radialgeschwindigkeit) Messwerte sowie Fehlerangaben aus Katalogen oder weiterführenden Publikationen vorliegen.
- In Sample B (Größe 13 / 161 Systemen) fallen all diejenigen Systeme, für die zwar alle relevanten Mittelwerte vorliegen, für die allerdings mindestens eine Fehlerangabe völlig fehlt, was eine physikalisch verlässliche Aussage zu der kinematischen Entwicklung dieser Systeme unmöglich macht.
- Das Sample C (Größe 52 / 161 Systemen) besteht aus den restlichen Systemen, für die mindestens eine kinematische Variable überhaupt nicht gemessen wurde. Da die Langzeitentwicklung dieses Samples nicht einmal annähernd abgeschätzt werden kann, wird das Sample C notgedrungen bis auf eine Auflistung in Appendix A und einer möglichen Darstellung in Fig. 3 von weiteren kinematischen Berechnungen und Untersuchungen ausgeschlossen.

## 4. Geschwindigkeitsverteilung der 8pc-Umgebung

Aus dem in Abschnitt 2.3 angesprochenen Orbit-Simulationsprogramm von Irrgang et al. wurden für die 96 Systeme des Samples A die Erwartungswerte der jeweiligen galaktischen Geschwindigkeitskomponenten berechnet, wie sie den gegenwärtigen Beobachtungen entsprechen. Um eine statistisch möglichst verlässliche Aussage hinsichtlich der Raumgeschwindigkeit des LSR zu erhalten, wurde neben dem Sample C auch das Sample B, das sich durch fehlende Angaben der Unsicherheiten in den Messwerten kennzeichnet und nur 8% der Gesamtsysteme des 8pc-Samples umfasst, aus der Berechnung ausgeschlossen. Anschließend wurden für jeden Stern durch einen Monte-Carlo-Algorithmus 1000 Geschwindigkeits-Tripel (U,V,W) gemäß den Fehlerbreiten der eingehenden Variablen normal verteilt generiert, und diese für alle 96 Sterne zu einer Verteilung von insgesamt 96000 simulierten Sternen zusammengefasst. Zu dieser Verteilung trug jeder simulierte Stern eine Count-Zahl von 1/1000 bei. Indem diese Verteilung den Unsicherheiten aller eingehender Messwerte direkt Rechnung trägt, können aus ihr weitaus genauere Ergebnisse hinsichtlich der Geschwindigkeitsverteilung aus den vorliegenden Katalog-Daten gewonnen werden als durch eine bloße Betrachtung der Mittelwerte der Geschwindigkeiten der Sterne der Samples A und B, da dieses Verfahren nicht auf die Information der Messwert-Ungenauigkeiten zurückgreifen würde.

Aus der Anpassung einer Gaußkurve an die so erzeugte Absolutgeschwindigkeitsverteilung erhält man eine mittlere Raumgeschwindigkeit der Sterne der 8pc-Sonnenumgebung, die minimal von der gewählten Binbreite abhängt (s. Fig. 4.1). Die Ergebnisse sind in den Tabellen 2.1 bis 2.4 dargestellt.

**Tabelle 2.1:** Mittelwert und Breite der Verteilung der Gesamtgeschwindigkeit  $v$  für die Binbreiten 5 km/s und 10 km/s.

Binbreite in km/s	$\langle v \rangle$ in km/s	$\Delta \langle v \rangle$ in km/s	$\sigma_v$ in km/s	$\Delta \sigma_v$ in km/s
5	242.0	0.7	14.7	0.7
10	238.8	0.6	15.0	0.6

**Tabelle 2.2:** Mittelwert und Breite der Verteilung der Geschwindigkeitskomponente  $U$  für die Binbreiten 5 km/s und 10 km/s.

Binbreite in km/s	$\langle U \rangle$ in km/s	$\Delta \langle U \rangle$ in km/s	$\sigma_U$ in km/s	$\Delta \sigma_U$ in km/s
5	-4.3	1.6	33.4	1.6
10	-6.6	1.9	33.7	1.9

**Tabelle 2.3:** Mittelwert und Breite der Verteilung der Geschwindigkeitskomponente  $V$  für die Binbreiten 5 km/s und 10 km/s.

Binbreite in km/s	$\langle V \rangle$ in km/s	$\Delta \langle V \rangle$ in km/s	$\sigma_V$ in km/s	$\Delta \sigma_V$ in km/s
5	240.9	0.4	11.6	0.4
10	238.3	0.5	12.0	0.5

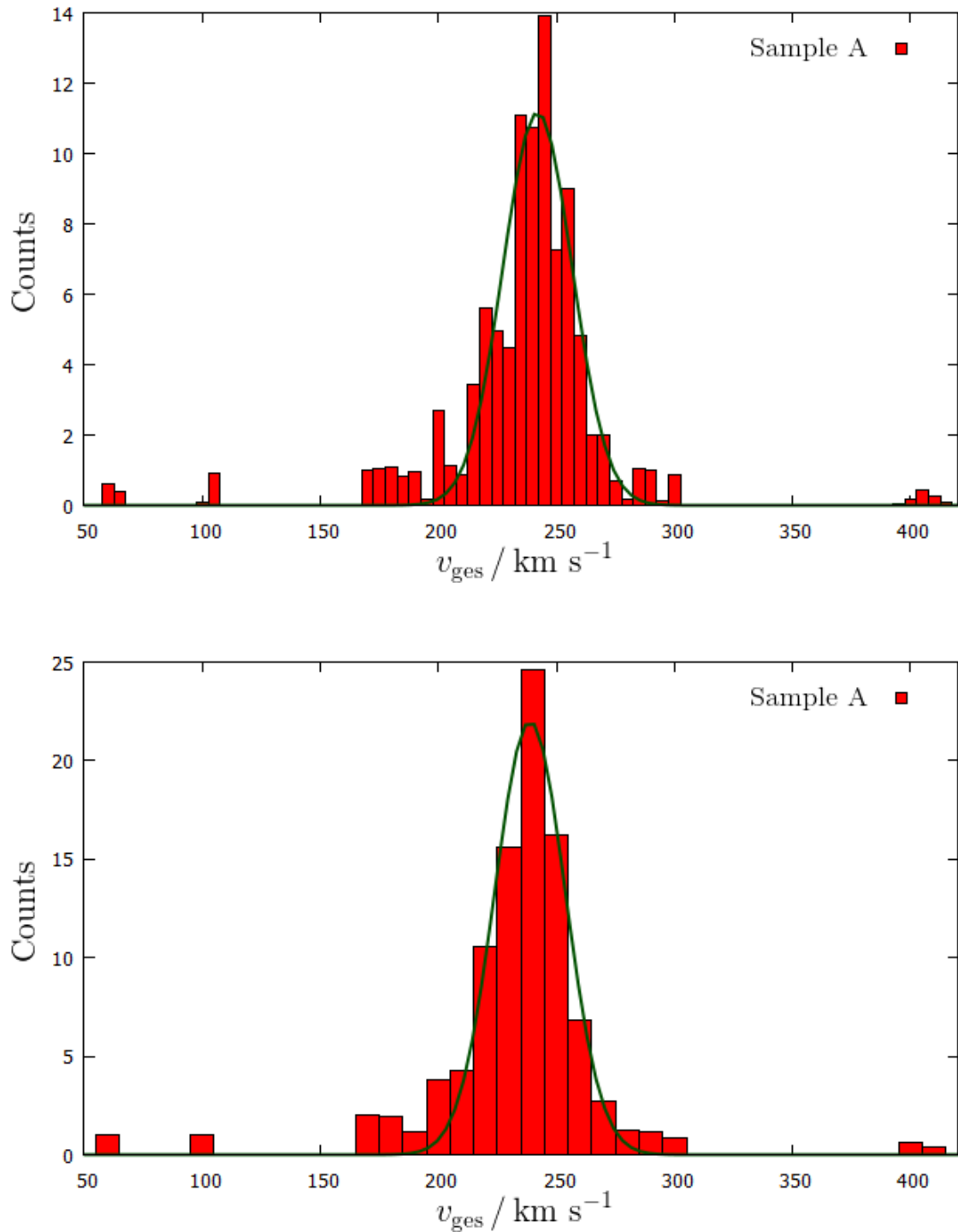
**Tabelle 2.4:** Mittelwert und Breite der Verteilung der Geschwindigkeitskomponente  $W$  für die Binbreiten 5 km/s und 10 km/s.

Binbreite in km/s	$\langle W \rangle$ in km/s	$\Delta \langle W \rangle$ in km/s	$\sigma_W$ in km/s	$\Delta \sigma_W$ in km/s
5	-5.5	0.6	10.9	0.4
10	-8.5	0.8	11.3	0.4

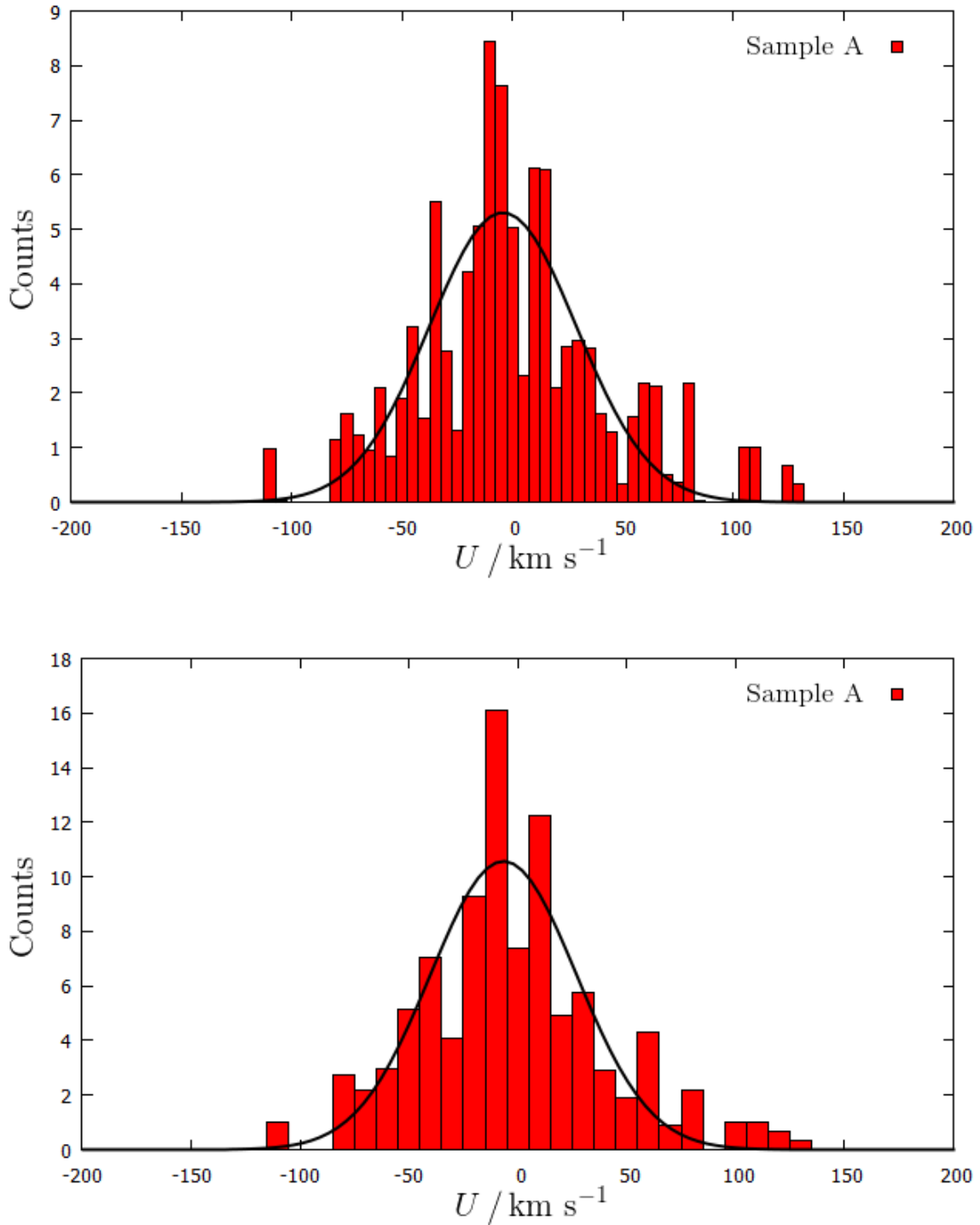
Die Abhängigkeit von der Binbreite erklärt sich aus der zusätzlichen Glättung des Verteilungshistogramms durch die Wahl größerer Bins. Der Effekt ist allerdings klein, da die Glättung sich für sinnvolle Wahlen der Binbreite nur auf das Anpassungsverfahren des Fit-Algorithmus auswirkt. Dennoch erscheinen die für ein Binning von 5 km/s erhaltenen Ergebnisse realistischer, da sowohl root-mean-square-Abweichungen als auch die Fitgüte  $\chi^2$  für diese Anpassung geringer ausfallen. Dass das Quadrat der mittleren Raumgeschwindigkeit nicht einfach aus der Summe der quadratischen mittleren Geschwindigkeitskomponenten hervorgeht, ist auf die Korrelation dieser Komponenten untereinander zurückzuführen. Eine Übersicht über die Erwartungswerte der Raumgeschwindigkeitskomponenten für alle 109 Systeme der Samples A und B findet sich in Tabelle 3.

Der sehr auffällige Exzess der Sample-Systeme mit einer Rotationsgeschwindigkeit  $V \approx 200$  km/s über die durch den Gauß-Fit mit Mittelwert  $\langle V \rangle \approx 240$  km/s repräsentierte Erwartung ist mit hoher Wahrscheinlichkeit durch die Sterne der Dicken Scheibe zu erklären, für die nach Pauli (2004) eine um ca. 40 km/s geringere mittlere Rotationsgeschwindigkeit als für die Dünne Scheibe zu erwarten ist. Daher handelt es sich bei der bestimmten mittleren Raumgeschwindigkeitsverteilung vornehmlich um jene der Dünne Scheibe.

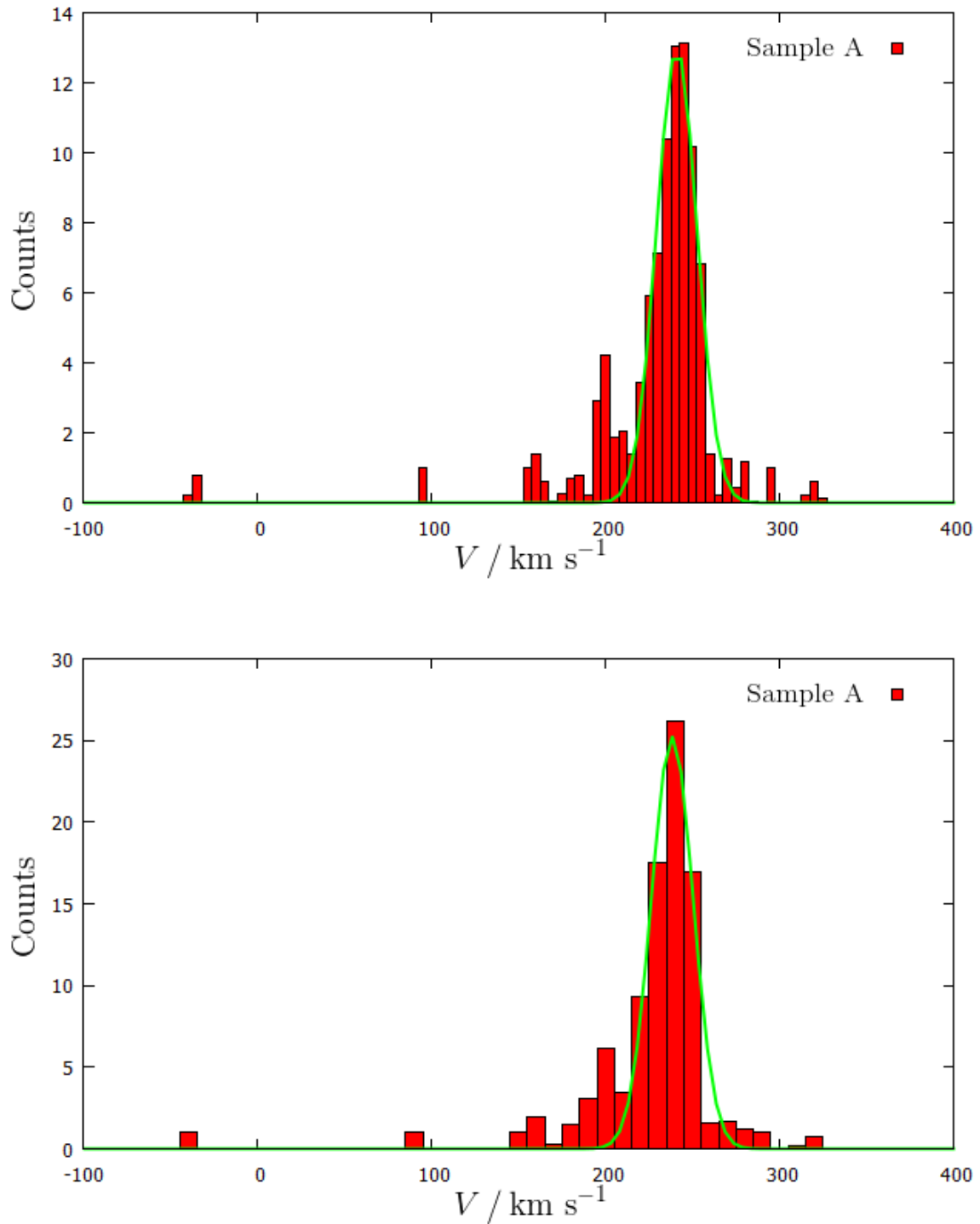




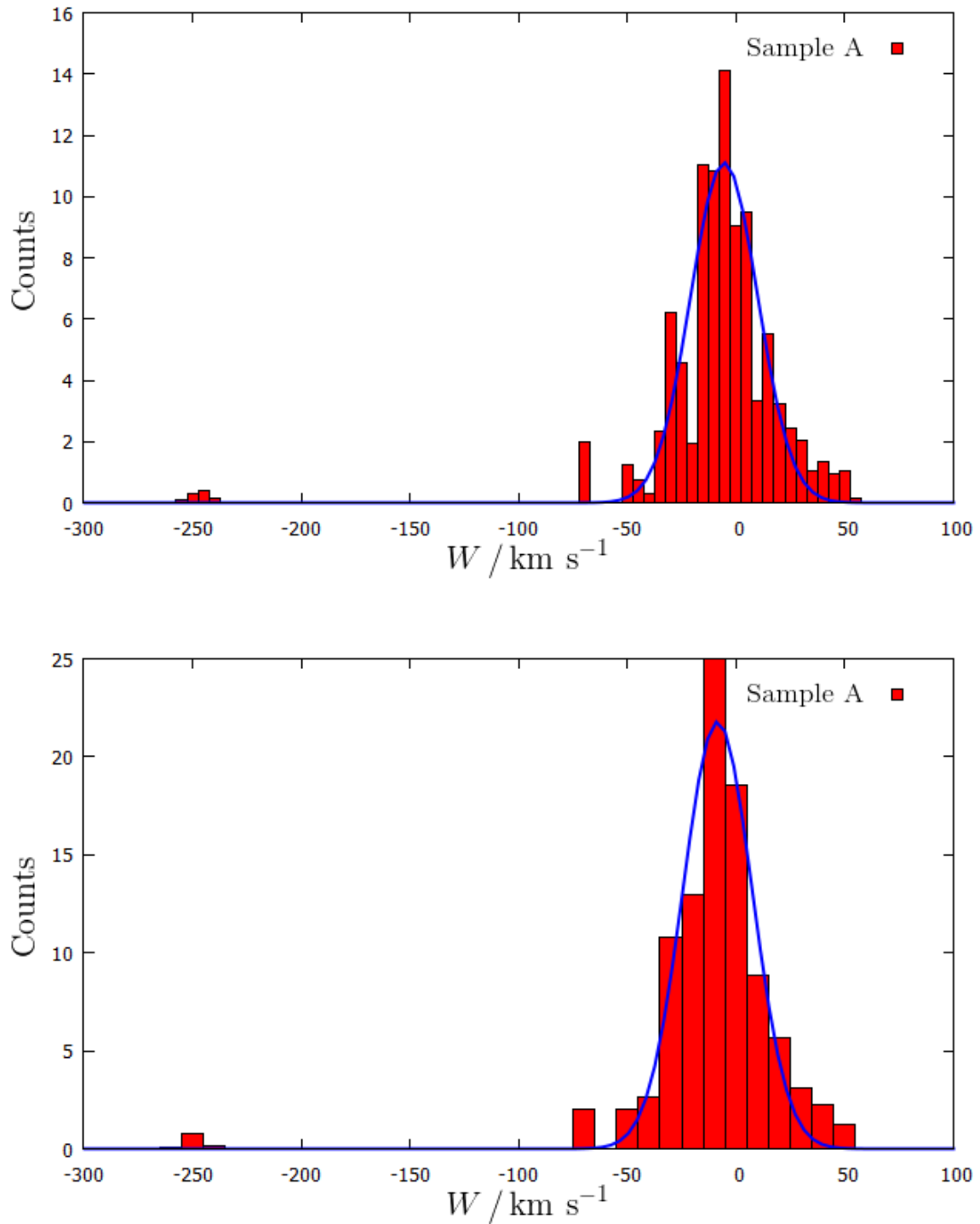
**Fig. 4.1:** Gesamtgeschwindigkeiten der Mitglieder des Samples A für verschiedene Binbreiten (oben: Binbreite 5 km/s; unten: Binbreite 10 km/s). Die dunkelgrüne Funktion stellt den jeweiligen Fit einer Gaußverteilungskurve an die Daten dar.



**Fig. 4.2:** Verteilung der Geschwindigkeitskomponente  $U$  für die Sterne des Samples A für verschiedene Binbreiten (oben: Binbreite 5 km/s; unten: Binbreite 10 km/s). Die schwarze Funktion stellt den jeweiligen Fit einer Gaußverteilungskurve an die Daten dar.

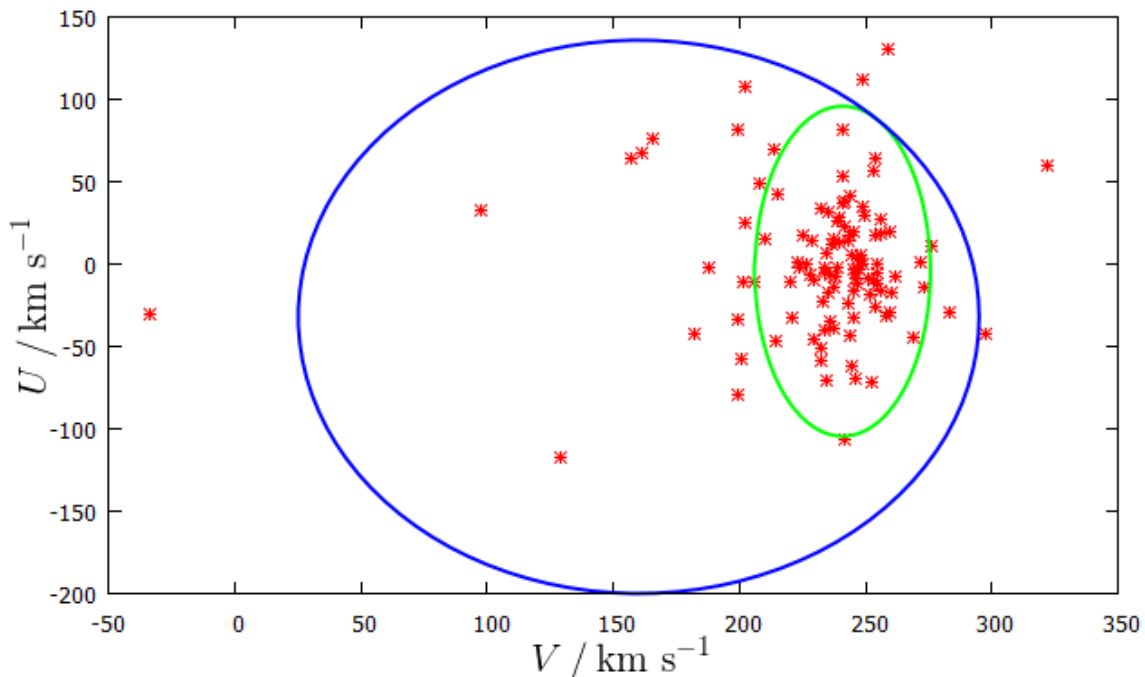


**Fig. 4.3:** Verteilung der Geschwindigkeitskomponente  $V$  für die Systeme des Samples A für verschiedene Binbreiten (oben: Binbreite 5 km/s; unten: Binbreite 10 km/s). Die hellgrüne Funktion stellt den jeweiligen Fit einer Gaußverteilungskurve an die Daten dar.



**Fig. 4.4:** Verteilung der Geschwindigkeitskomponente  $W$  für Systeme des Samples A für verschiedene Binbreiten (oben: Binbreite 5 km/s; unten: Binbreite 10 km/s). Die blaue Funktion stellt den jeweiligen Fit einer Gaußverteilungskurve an die Daten dar.

Der mittlere Vektor  $(U, V, W)_{5\text{km/s}}$  kann verwendet werden, um die 161 Systeme des 8pc-Samples in kinematische Populationen einzuteilen. Dazu betrachte man die Abschätzungen der mittleren Geschwindigkeitskomponenten  $\langle U \rangle$  und  $\langle V \rangle$  sowie die korrespondierenden Verteilungsbreiten  $\sigma_U$  und  $\sigma_V$  einerseits für Sterne der Dünne Scheibe und andererseits für jene der Dicken Scheibe gemäß Pauli (2004). Liegt ein Stern in einem U-V-Diagramm innerhalb der 3-Sigma-Grenzen einer dieser Gruppenkriterien, so kann dies als starkes Indiz für seine Zugehörigkeit zu der betreffenden Scheiben-Population gewertet werden. Sterne, die außerhalb dieser beiden Ellipsen liegen, qualifizieren sich als Halo-Kandidaten (s. Fig. 5). Während für die Dünne Scheibe die von mir berechneten Werte von  $\langle U \rangle = -4.3 \text{ km/s}$ ,  $\langle V \rangle = 240.9 \text{ km/s}$ ,  $\sigma_U = 33.4 \text{ km/s}$  und  $\sigma_V = 11.6 \text{ km/s}$  verwendet werden können, erwies sich das untersuchte 8pc-Sample als zu klein um daraus entsprechende Werte für die Dicke Scheibe zu bestimmen. Daher werde ich im folgenden die Kriterien von Pauli (2004) für die Dicke Scheibe mit  $\langle U \rangle = -32 \text{ km/s}$ ,  $\langle V \rangle = 160 \text{ km/s}$ ,  $\sigma_U = 56 \text{ km/s}$  und  $\sigma_V = 45 \text{ km/s}$  ansetzen. Da diese jedoch veraltet sind<sup>4</sup>, sie für die Dünne Scheibe signifikant von meinem Ergebnis abweichen und mit  $\langle V \rangle = 160 \text{ km/s}$  auch den von mir anhand der vorliegenden Daten abgeschätzten  $\langle V \rangle \approx 200 \text{ km/s}$  widersprechen, ist für das Einteilungskriterium für die Dicke Scheibe am Randbereich eine geringere Verlässlichkeit zu erwarten.



**Fig. 5:** U-V-Geschwindigkeitsdiagramm für die Sterne des 8pc-Samples (rot). Vier Sterne befinden sich klar außerhalb der angesetzten Inklusionskriterien für die Dünne Scheibe (grün) bzw. die Dicke Scheiben-Population (blau): Kapteyn's Stern (links), Van Maanen's Stern (rechts), sowie System LHS 38 (über der grünen Ellipse) und Barnard's Stern (über System LHS 38). Als repräsentativ für die Dicke Scheibe erwartet man 30 Cas (nach Kapteyn's Stern am weitesten links gelegen) und LHS 35 (am dritt-weitesten links gelegen), die in die blaue Ellipse fallen und mit hoher Wahrscheinlichkeit aus der Dünne Scheibe ausgeschlossen werden können.

<sup>4</sup> Private Kommunikation mit Prof. Dr. U. Heber und Dipl.-Phys. A. Irrgang (Dr. Remeis-Sternwarte, Bamberg).

Von den 161 Systemen der 8pc-Sonnenumgebung fand ich vier Systeme, bei denen es sich um Sterne des galaktischen Halos handeln könnte (Kapteyn's Stern, Van Maanen's Stern, System LHS 38, Barnard's Stern), sowie zwei weitere, die als auffällige Systeme als repräsentativ für die Dicke Scheibe gesehen werden könnten (30 Cas, LHS 35).  $\sigma$  Draconis grenzt an den äußeren Rand der Einteilung in die Dicke Scheibe, sodass ich unter Berücksichtigung einer anfallenden Korrektur des Mittelwerts der Geschwindigkeitskomponente V für diese  $\sigma$  Draconis in dem Schema noch der Dicken Scheibe zuteile.

**Tab. 3.1:** Galaktische Geschwindigkeitskomponenten U, V und W der Mitglieder der Samples A und B in km/s.

System	U	V	W	System	U	V	W
2MASS J03393521-3525440	0.1	249.2	5.5	ksi Boo	-16.8	256.4	7.3
2MASSI J1048147-395606	0.1	254.3	-21.5	KX Lib Sys	-58.4	232.7	-25.6
2MUCD 11296	13.6	239.3	-33.8	LAL 21185	-57.4	200.6	-67.3
30 Cas	32.1	97.3	-28.0	LDS 6334	-61.7	244.4	2.5
61 Cyg	81.5	199.6	-1.7	LHS 2	-47.1	214.8	26.9
107 Psc	-45.7	229.4	9.5	LHS 19	67.5	161.5	-21.6
AD Leo	3.4	246.1	11.0	LHS 38 Sys	111.5	248.8	22.5
ADS 7251 AB	28.9	239.6	-14.6	LHS 121	-10.6	205.5	-4.0
alf Aql	0.0	0.0	0.0	LHS 146	-29.8	283.7	19.9
AN Sex	-7.5	238.4	7.4	LHS 352	-69.3	245.8	5.1
AX Mic	-71.1	234.9	34.4	LHS 447	-10.9	201.2	-2.7
Barnard's Stern	129.9	258.8	25.4	LHS 486	107.6	202.3	54.5
bet Hyi	49.4	207.7	-23.8	LHS 533	-43.6	244.2	27.3
BR Psc	-1.7	187.6	40.6	LHS 1723	12.1	236.4	-28.5
CCDM J01398-5612 AB	-6.9	235.7	-11.2	LHS 1879	29.2	249.9	-4.4
del Pav	37.5	240.8	-7.8	LHS 2272	-2.5	223.5	-4.8
DX Cnc	5.7	244.3	-5.9	LHS 2459	-79.1	199.7	-65.1
EE Leo	1.2	223.1	-11.3	LHS 3558	11.4	276.0	5.6
eps Eri	-8.1	261.5	-12.7	LHS 3595	-32.8	244.1	-11.7
EQ Peg	2.6	248.5	0.2	LHS 6193	7.1	234.6	26.8
eta Cas	19.4	244.1	-9.6	LUY 726	31.7	235.3	-12.2
EV Lac	-30.1	257.9	5.5	PMSC 02307+0626	63.1	254.2	41.2
EZ Aqr	56.4	253.4	48.6	PMSC 04107-0748	-106.7	241.7	-34.4
FI Vir	-28.9	259.3	-25.7	PMSC 14328-6025	18.5	256.1	20.4
FL Vir	23.3	241.5	1.7	Procyon AB	-15.9	245.3	-11.4
Fomalhaut	-5.4	245.1	-3.8	QY Aur	33.4	232.7	0.1
G 99-49	14.8	237.3	8.2	sig Dra	-42.4	297.6	-11.6
G 202-48	-18.8	251.1	-10.1	Sirius AB	-25.5	253.9	-4.2
GJ 229 AB	-23.4	243.1	-4.4	STF 2398 AB	13.7	242.8	33.2
GJ 563.2	34.8	249.1	0.9	STN 2051	24.8	202.3	-3.9
GJ 643/644	-32.4	221.2	19.2	TW PsA	-2.9	245.4	1.8
GJ 667	-14.6	272.9	-24.1	V577 Mon	0.3	226.7	11.5
GJ 829	19.3	259.6	-7.9	V1216 Sgr	-5.3	254.5	-1.1
GJ 1224	17.3	225.3	19.3	V1352 Ori	76.1	165.6	15.9
GJ 3622	-38.7	237.6	-6.8	V2306 Oph	-5.7	233.6	-9.1
GJ 3877	-6.2	228.1	-4.3	V2391 Oph	-17.0	235.4	-7.5
GRB 34 AB	38.3	241.8	3.9	Van Maanen's Stern	59.5	322.1	-244.2
HD 36395	-33.9	199.3	-2.7	Vega	5.1	247.8	-0.5
HD 88230	-1.9	233.6	-28.8	VX Ari	41.8	244.2	-13.6
HD 113447	-9.6	253.1	-26.7	YZ Cet	17.1	253.9	-16.5
HD 119850	-71.7	252.5	4.2	YZ Cmi	-12.3	246.5	-6.7
HD 155876	-51.4	232.3	-14.3	CN Leo	15.1	209.8	-11.6
HD 191849	27.7	255.8	4.6	DG CVn	-8.2	245.8	16.7

**Tab. 3.2 (Fortsetzung):** Galaktische Geschwindigkeitskomponenten U, V und W der Mitglieder der Samples A und B in km/s.

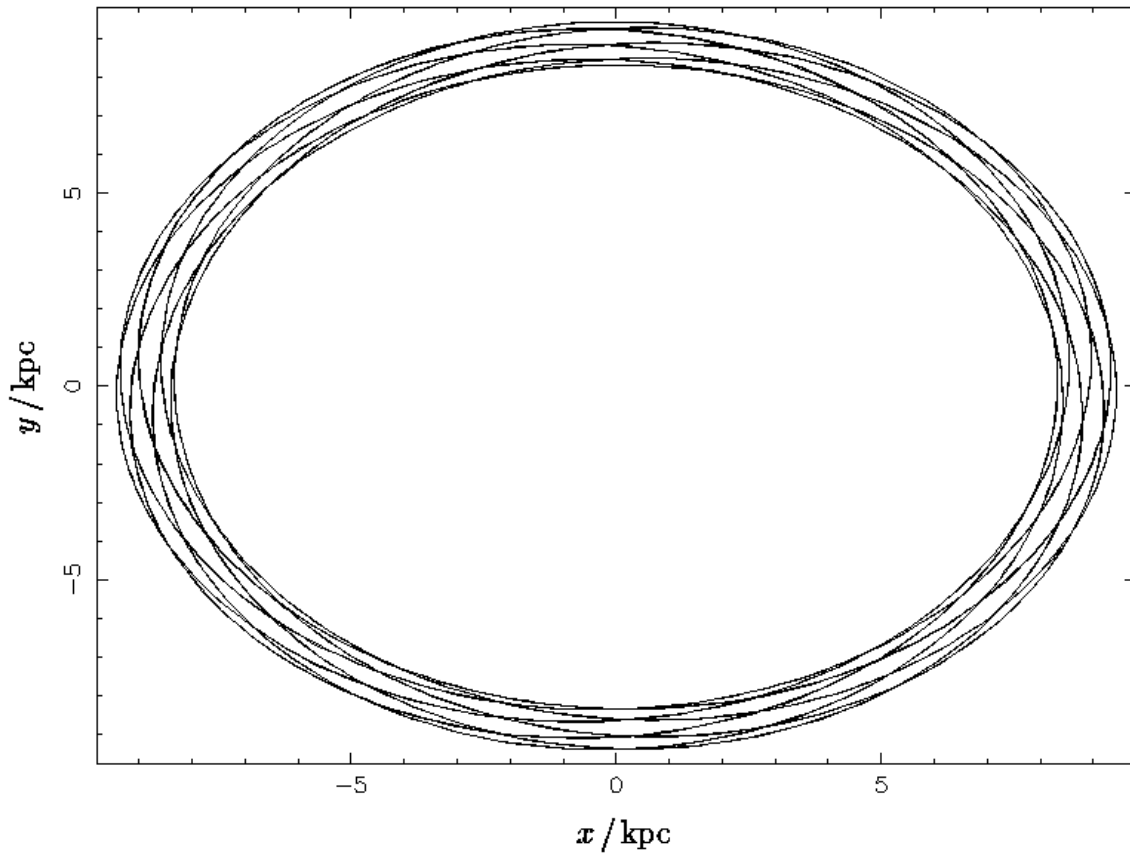
System	U	V	W	System	U	V	W
HD 209100 Sys	69.5	213.6	10.0	GJ 102	-14.6	237.2	-10.3
HD 217987	81.8	240.8	-45.2	GJ 674	-2.8	247.2	-12.8
HD 225213	63.8	157.0	-28.2	GJ 687	-40.7	233.5	3.4
HD 239960	-35.0	235.7	8.3	GJ 2005	1.0	271.9	42.4
HH And	-42.6	181.9	6.8	GJ 2097	-8.7	251.3	-4.7
HIP 67593	-12.4	254.5	11.5	GL Vir	25.6	238.6	9.6
HN Lib	13.9	228.8	18.9	HD 165222	-44.9	268.9	-11.6
HR 4375	-9.6	229.2	-12.4	LHS 35	-117.3	129.1	-42.6
HR 8832	42.2	215.2	-7.1	LHS 451	53.2	241.3	16.7
IL Aqr	-1.9	238.6	-13.4	LHS 3685	-23.3	232.1	-2.4
IRAS 17122-2632+	-11.0	220.5	-0.1	PMSC 19506+4410	-17.0	260.4	-4.4
Kapteyn's Stern	-30.7	-33.7	-45.8				

## 5. Bedeutende stellare Annäherungen an die Sonne

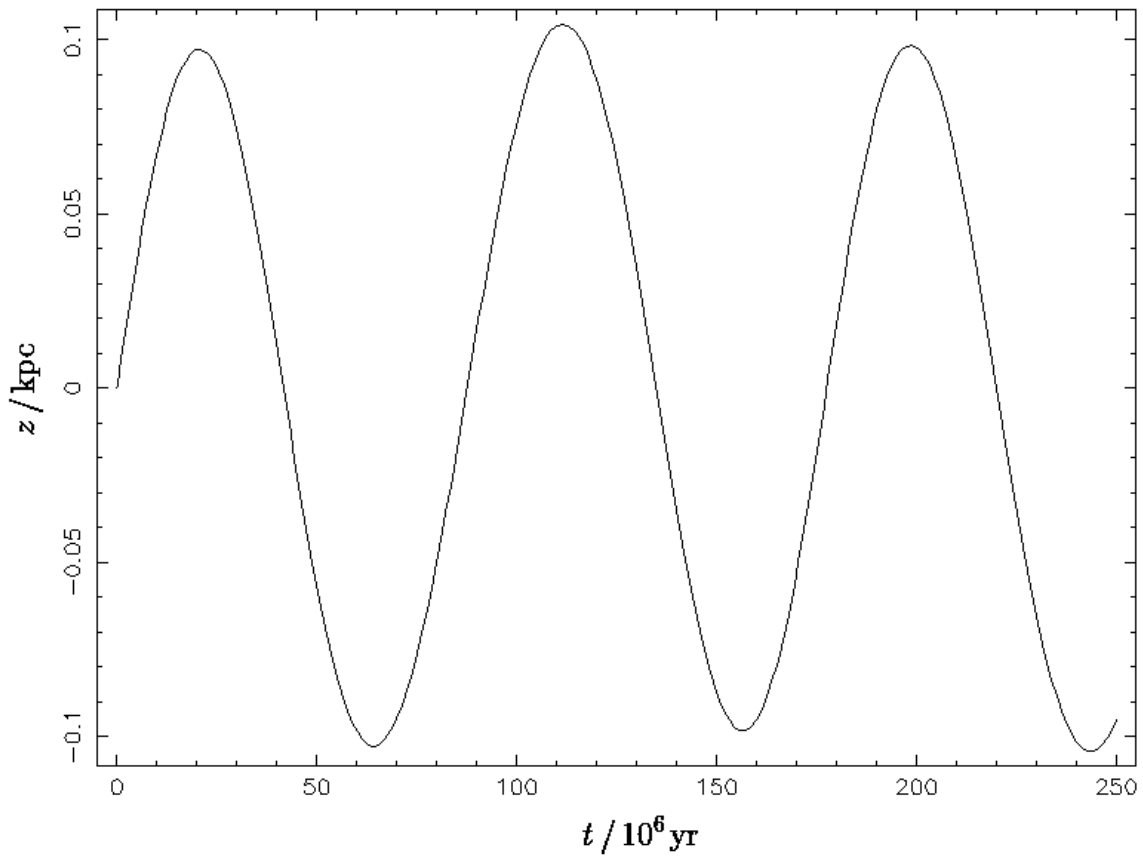
### 5.1 Langzeitentwicklung der Trajektorien des 8pc-Samples

Durch Anwendung des in Abschnitt 2.3 erwähnten Programms zur Berechnung der Bewegung einer Punktmasse mit gegebenen kinematischen Kenngrößen im galaktischen Gravitationspotential wurden die Orbits aller Systeme der Samples A und B um das galaktische Zentrum modelliert. Zunächst führte ich eine Simulation der Stern-Trajektorien für die nächsten 4 Milliarden Jahre durch.

Dabei erweist sich die Sonne als typischer Stern der Dünnen Scheiben-Population bzw. Population I. Ihre z-Koordinate – d.h. der senkrechte Abstand zur idealen galaktischen Scheibe – oszilliert mit einer Halbamplitude von 0.1 kpc mit einer Periode von 90-100 Millionen Jahren; ihr Abstand zum galaktischen Zentrum oszilliert mit einer Amplitude von ca. 1 kpc und einer Periode von 160-170 Millionen Jahren. Dass letztere Schwingung nicht mit der Dauer eines galaktischen Orbits von 250 Millionen Jahren zusammenfällt liegt an der Drehung der Apsidenlinie, die dazu führt, dass sich der leicht elliptische Sonnenorbit nicht nach einer galaktischen Umrundung schließt. Auch das sonnennächste System PMSC 14328-6025 sowie das viertnächste System CN Leo, ein Zwergstern des Spektraltyps M6.0V, zeigen ein ähnliches Verhalten nur leicht elliptischer Orbits mit einer kleinen Schwingung um die Scheibenebene. Direkt kann dieses Verhalten auch nach Pauli (2004) aus Diagrammen der z-Auslenkung in Abhängigkeit von dem projizierten Abstand zum galaktischen Zentrum in der x-y-Scheibenebene abgelesen werden. Es ist typisch für Sterne der Dünnen Scheibe.

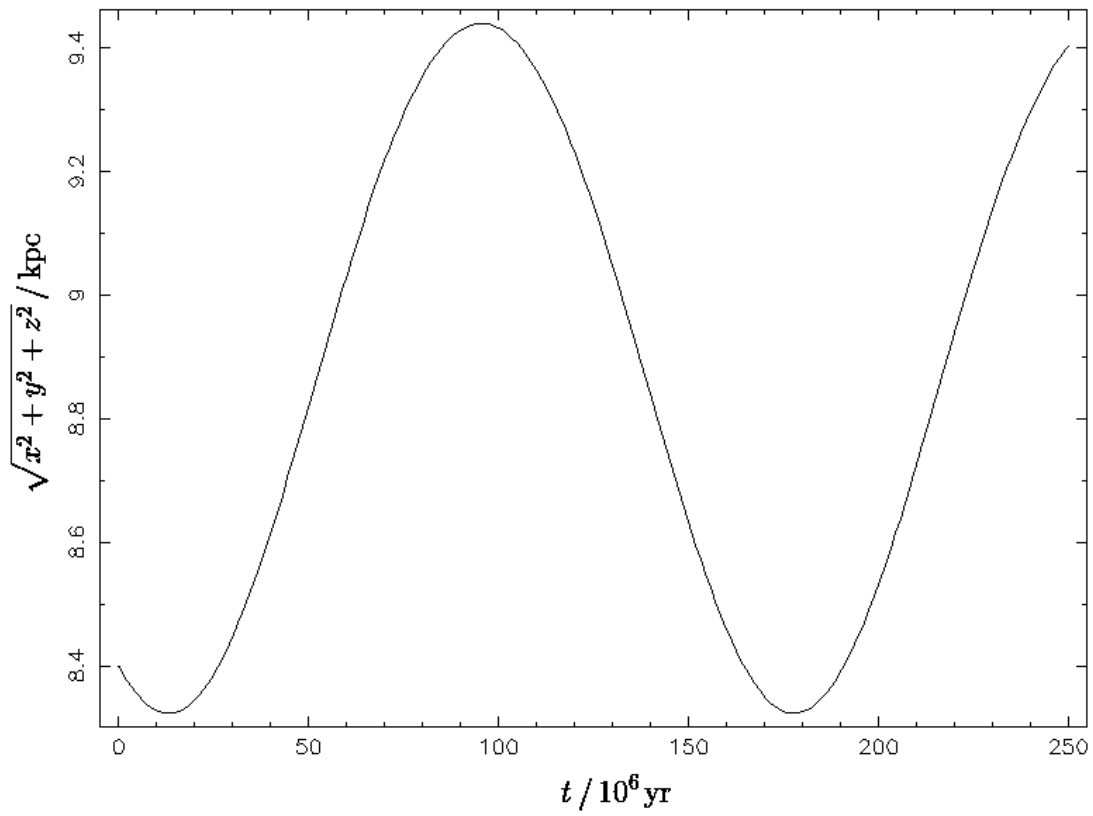


**Fig. 6.1:** In die Scheibenebene projizierter Orbit der Sonne

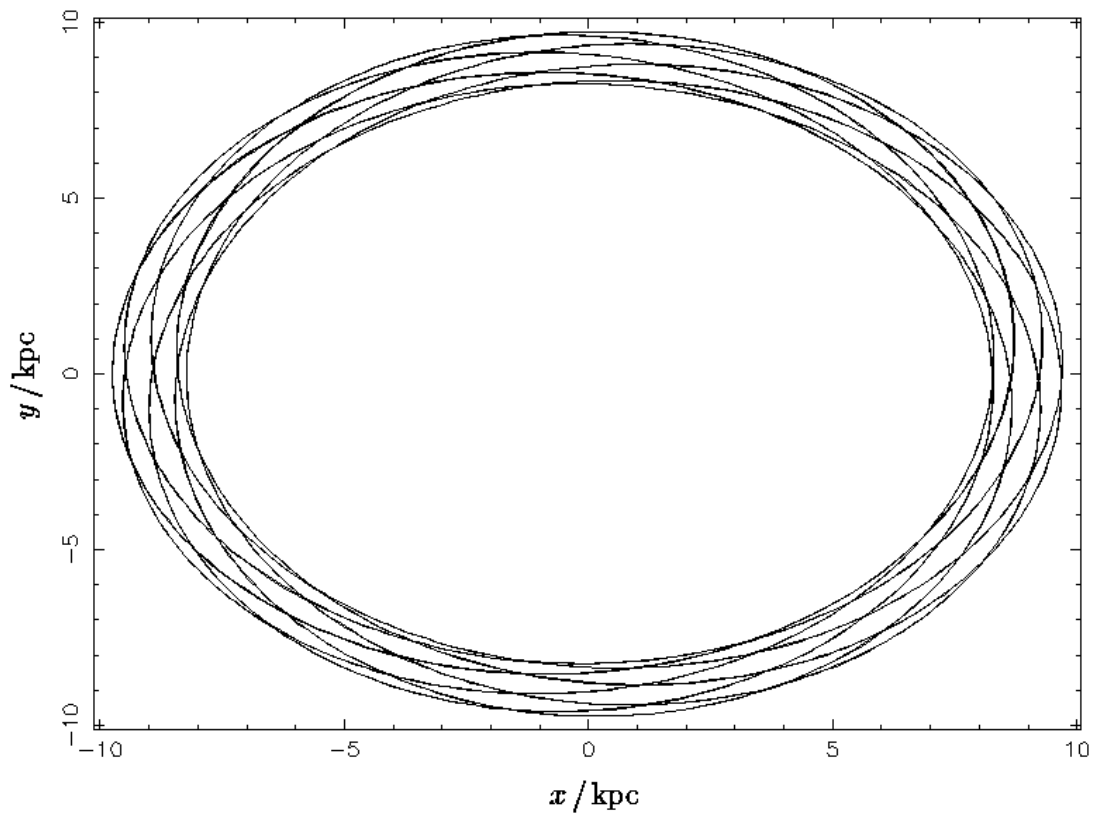


**Fig. 6.2:** Oszillation der Sonne um die Scheibenebene

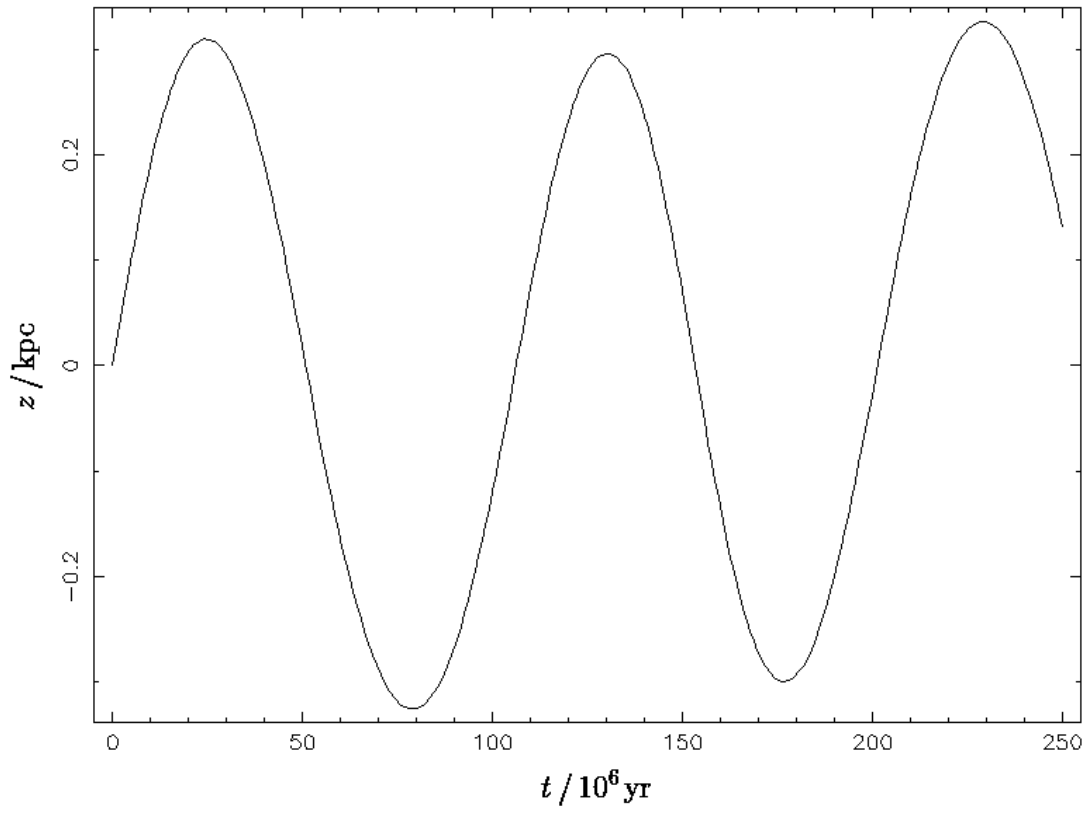




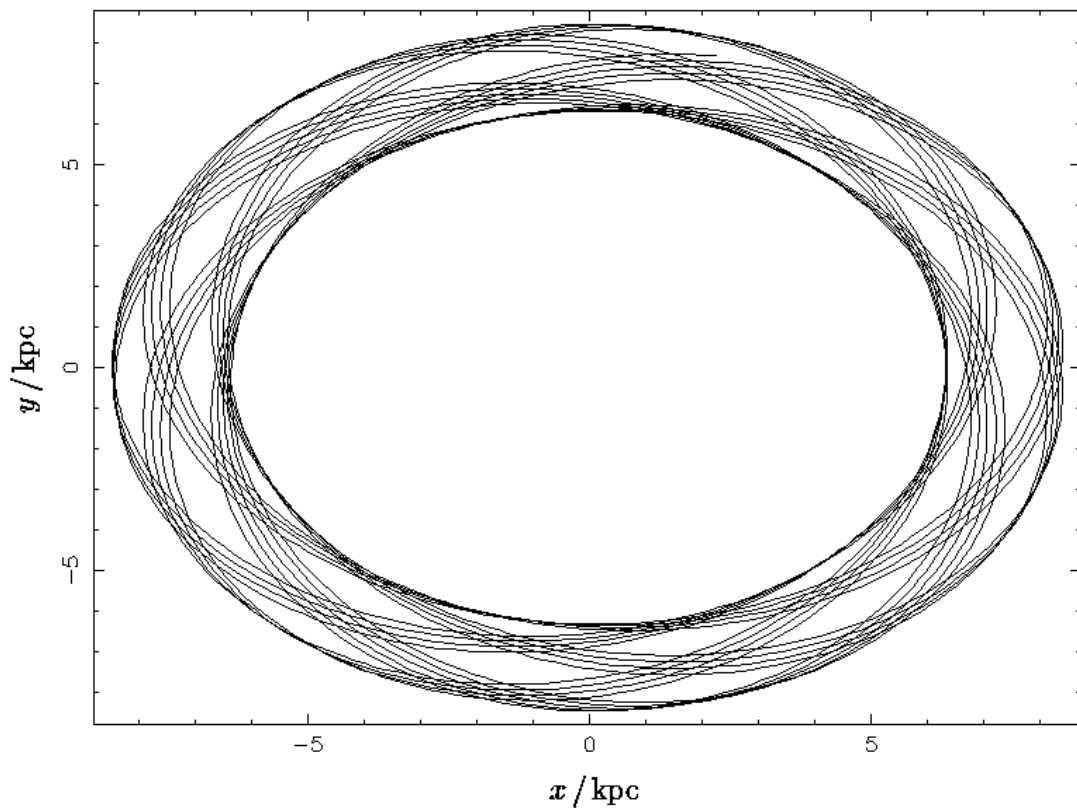
**Fig. 6.3:** Oszillation des Abstands der Sonne zum galaktischen Zentrum



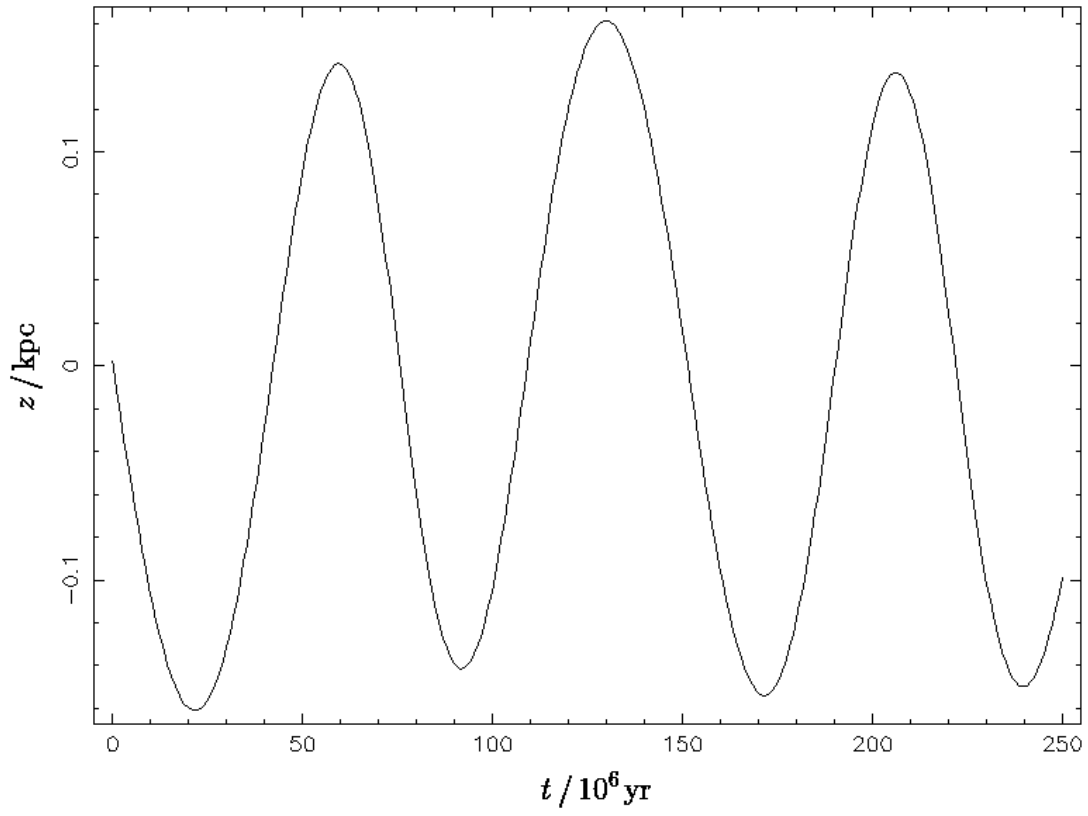
**Fig. 7.1:** In die Scheibenebene projizierter Orbit von PMSC 14328-6025



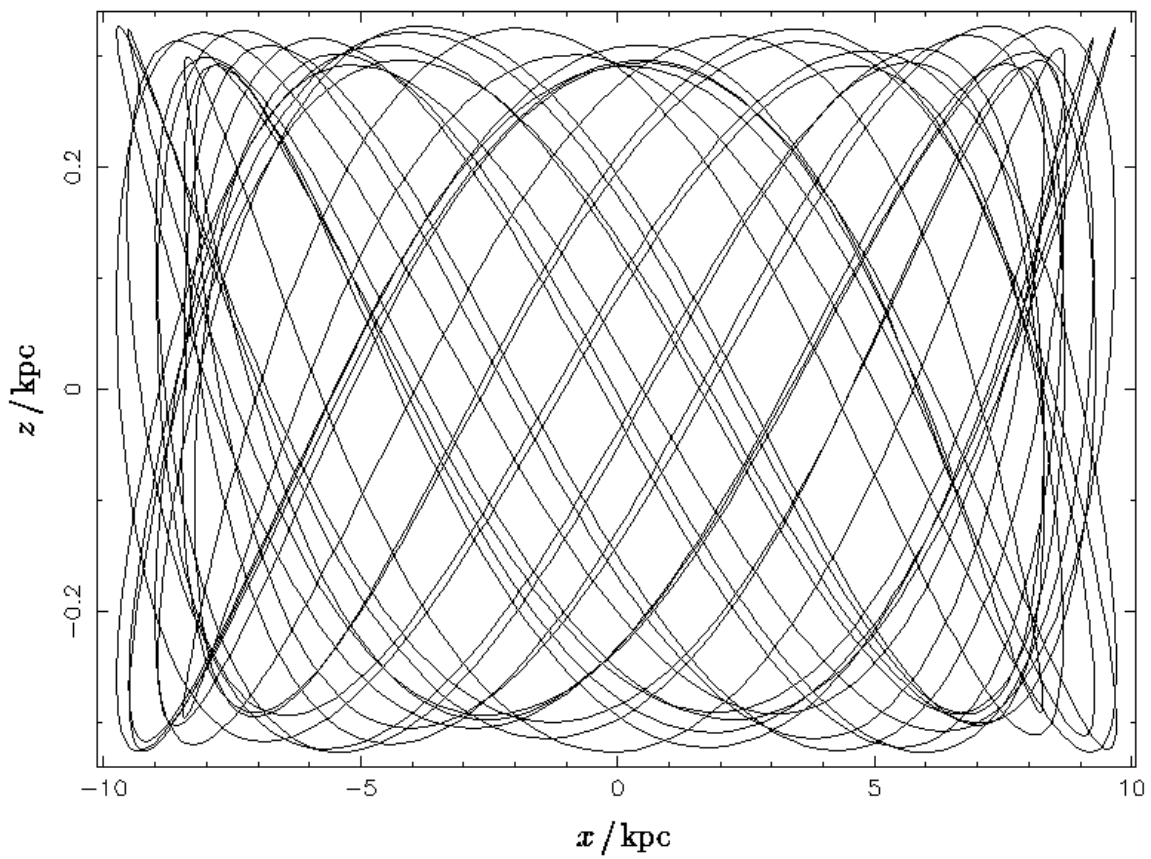
**Fig. 7.2:** Oszillation von PMSC 14328-6025 um die Scheibenebene



**Fig. 8.1:** In die Scheibenebene projizierter Orbit von CN Leo

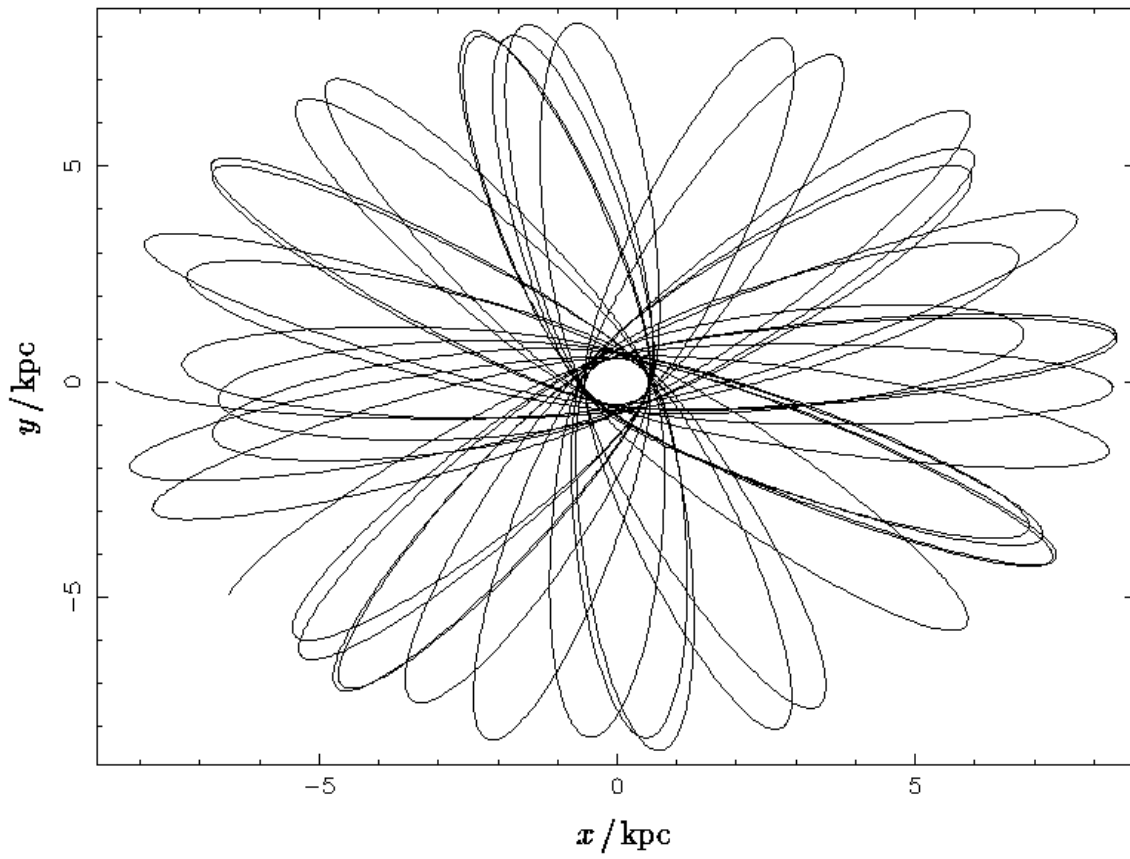


**Fig. 8.2:** Oszillation von CN Leo um die Scheibenebene

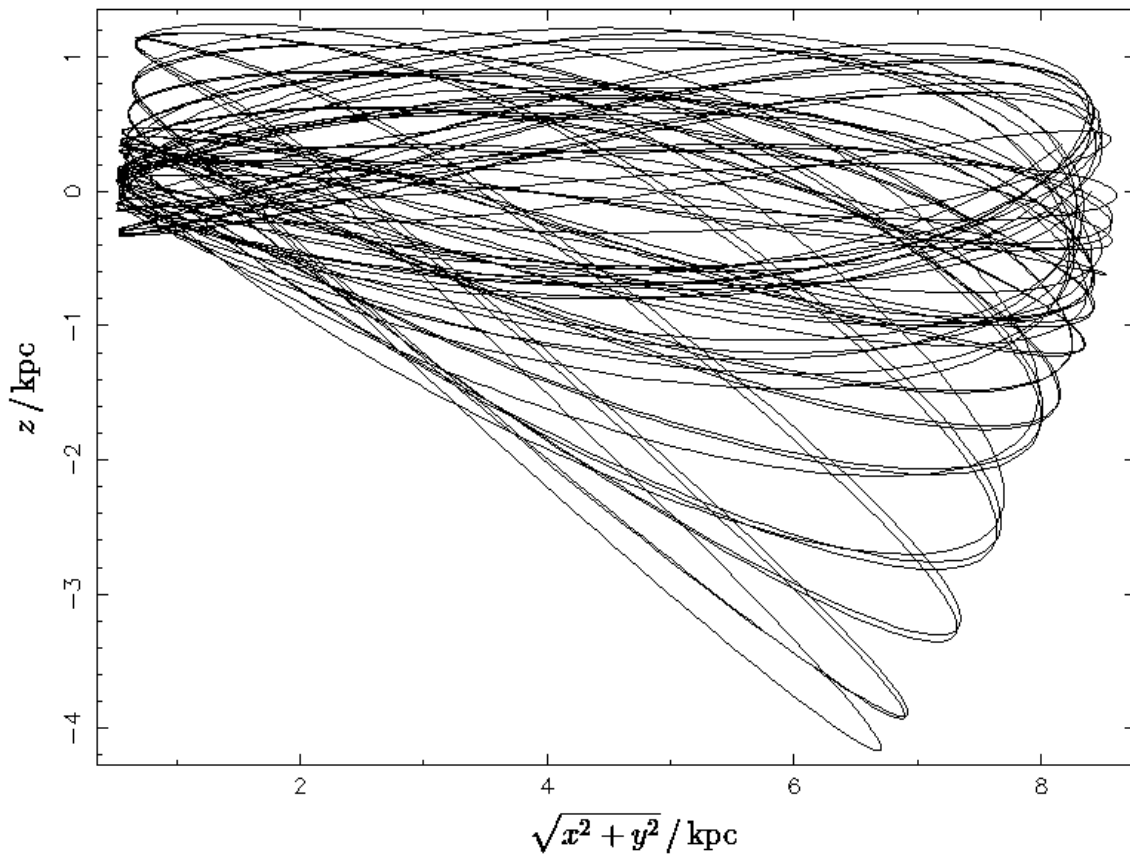


**Fig. 9.1:** Orbit von PMSC 14328-6025 in der Edge-on-Ansicht auf die galaktische Scheibenebene

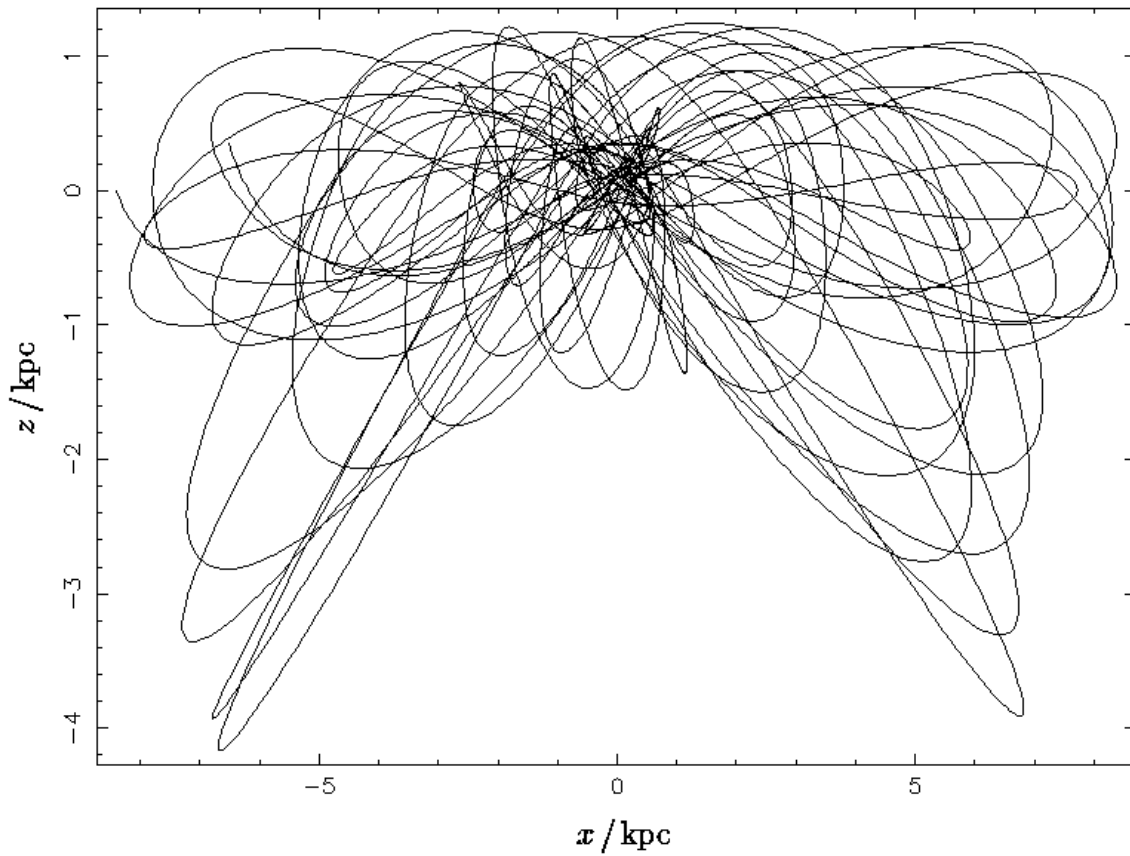




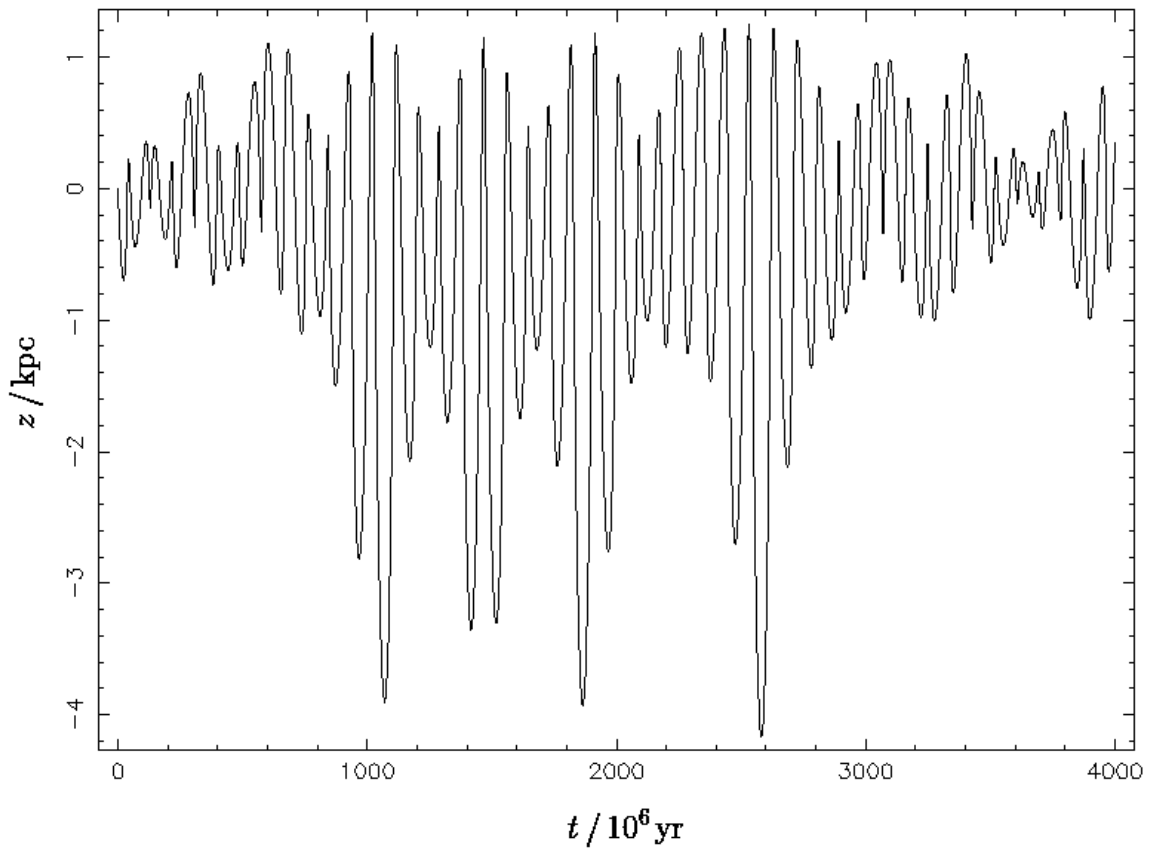
**Fig. 10.1:** Auf die Scheibenebene projizierter Orbit von Kapteyn's Stern



**Fig. 10.2:** Orbit von Kapteyn's Stern



**Fig. 10.3:** Orbit von Kapteyn's Stern in Edge-on-Ansicht auf die galaktische Ebene



**Fig. 10.4:** Oszillation von Kapteyn's Stern um die Scheibenebene

*(ii) Barnard's Stern*

Der bis vor kurzem noch sonnennächste bekannte Rote Zwergstern verfügt über eine Masse von 0.144 Sonnenmassen. Während seine Position im U-V-Diagramm in Fig. 5 eine Zugehörigkeit zum Halo vermuten lässt, erweist sich der tatsächliche Orbit als zwar elliptischer als jene von Sonne, PMSC 14328-6025 oder CN Leo in der Scheibenebene, jedoch kommt er dem galaktischen Zentrum bei weitem nicht so nahe wie Kapteyn's Stern. Aus der Auftragung von  $z$  gegen den projizierten Abstand in der  $x$ - $y$ -Ebene lässt sich eine Halbamplitude der  $z$ -Auslenkung von lediglich 0.5 kpc feststellen; auch die Edge-on-Ansicht des Orbits zeigt eine Trajektorie, die auf die Scheibenregion beschränkt ist.

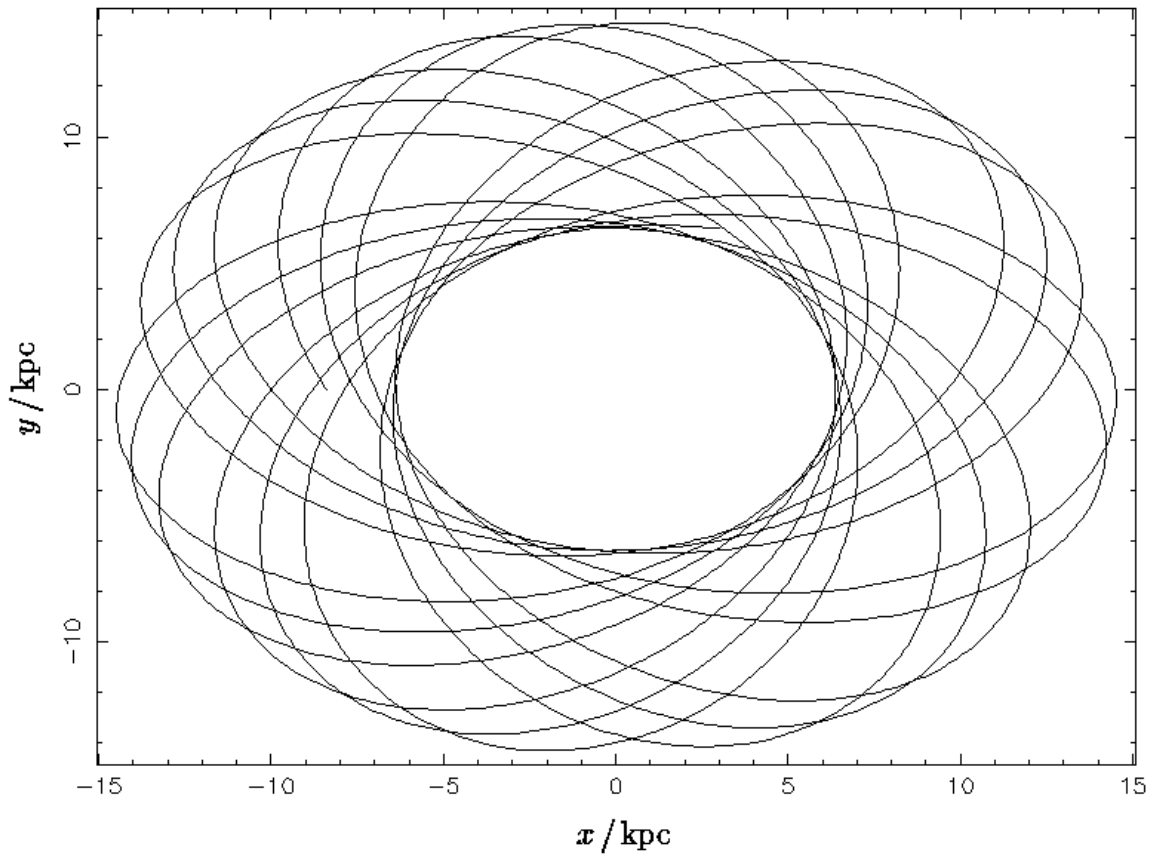
Während in Hinblick auf die Geschwindigkeitskomponenten eine Einteilung des Population II-Objekts Barnard's Stern in die Halo-Population nahe läge, rechtfertigt der tatsächliche Orbit und nicht zuletzt die hohe und für den Halo untypische Metallizität zwischen -0.5 und -1.0 die Platzierung in einer Übergangspopulation zwischen Halo und Scheibe <sup>[3]</sup>, möglicherweise in der Dicken Scheibe.

Anzumerken sei, dass in Widerspruch zu meinem Resultat Delfosse et al. (1998) Barnard's Stern ausschließlich dem alten stellaren Halo zuteilen. Dies könnte jedoch auf das dort verwendete, einzig die Geschwindigkeitskomponenten beurteilende Klassifikationsschema zurückzuführen sein, in dessen Rahmen auch ich eine Einteilung in das Halo angesetzt hätte. Nachdem meine Analyse der stellaren Trajektorie die erwartete Raumbewegung für 4 Milliarden Jahre modelliert, schätze ich die daraus gewonnenen Aussagen jedoch als verlässlicher ein.

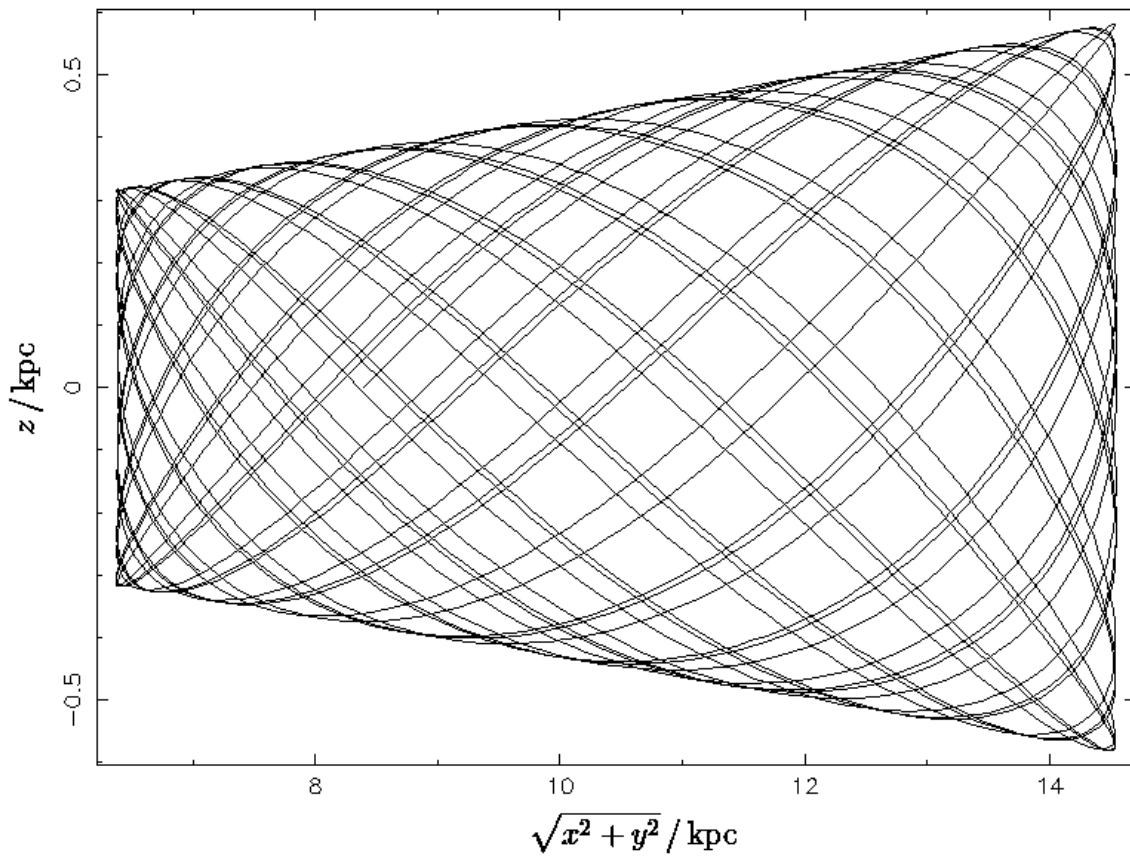
*(iii) System LHS 38*

Ein Doppelsternsystem aus den Roten Zwergen LHS 38 und WX UMa mit einem gegenseitigen Abstand von 190 AE und einer Masse von 0.48 (LHS 38) bzw. 0.10-facher (WX UMa) Sonnenmasse, das im Gliese-Katalog als GJ 412 geführt wird und Untersuchungen von Soubiran et al. (2008) zufolge eine Metallizität von -0.48 aufweist. Wie im Fall von Barnard's Stern scheint auch hier das Klassifikationsschema nach Geschwindigkeitskomponenten nicht gültig. Es lässt sich aus dem projizierten Orbit in der  $x$ - $y$ -Ebene eine geringe Exzentrizität  $e \approx 0.33$  sowie maximale Scheibendistanz von 0.5 kpc bestimmen, dass eine Einteilung in die Dicke Scheibe sinnvoll erscheint. Auch dieses System geben Delfosse et al. (1998) als Halo-Doppelstern an.

Die Fehleinteilungen von Barnard's Stern und System LHS 38 in den Halo auf Grundlage des Klassifikationsschemas nach Pauli (2004) sind vermutlich zum Teil auf die erwartete Ungenauigkeit der Einteilung für die Dicke Scheibe zurückzuführen.

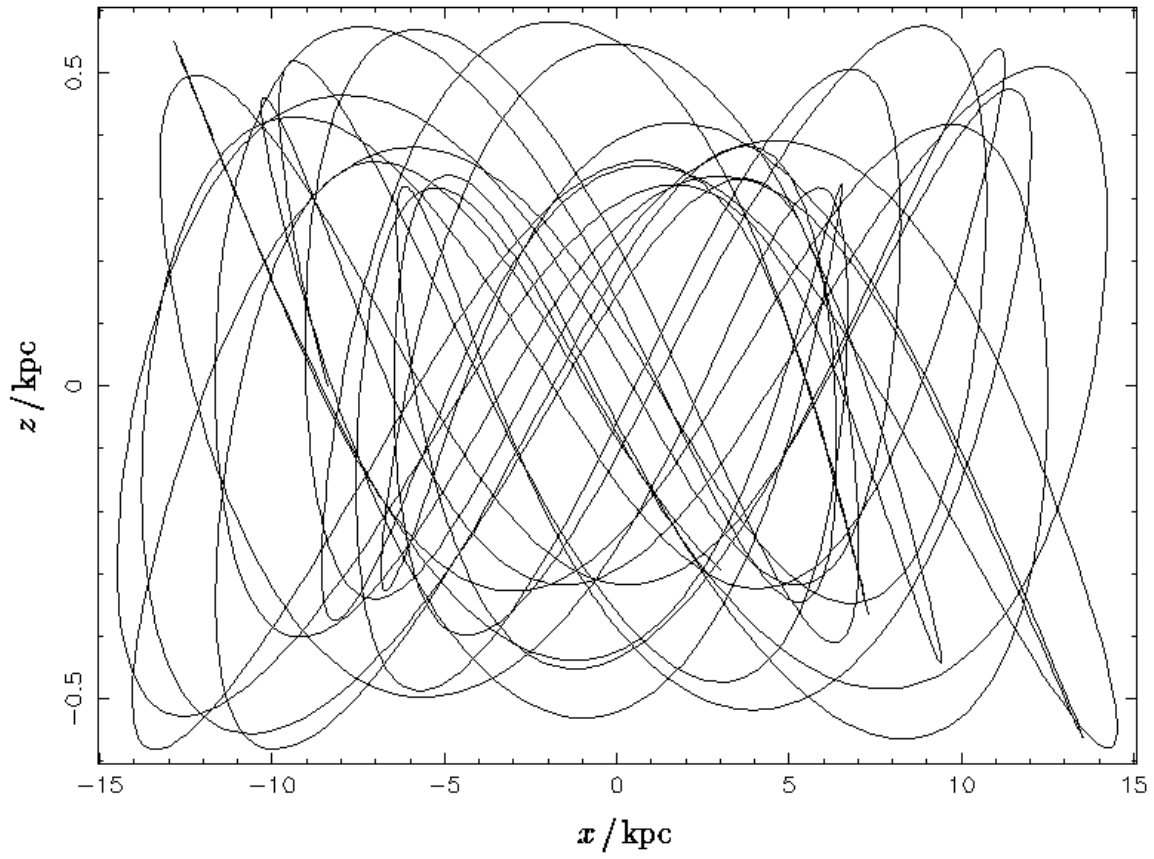


**Fig. 11.1:** In die Scheibenebene projizierter Orbit von Barnard's Stern

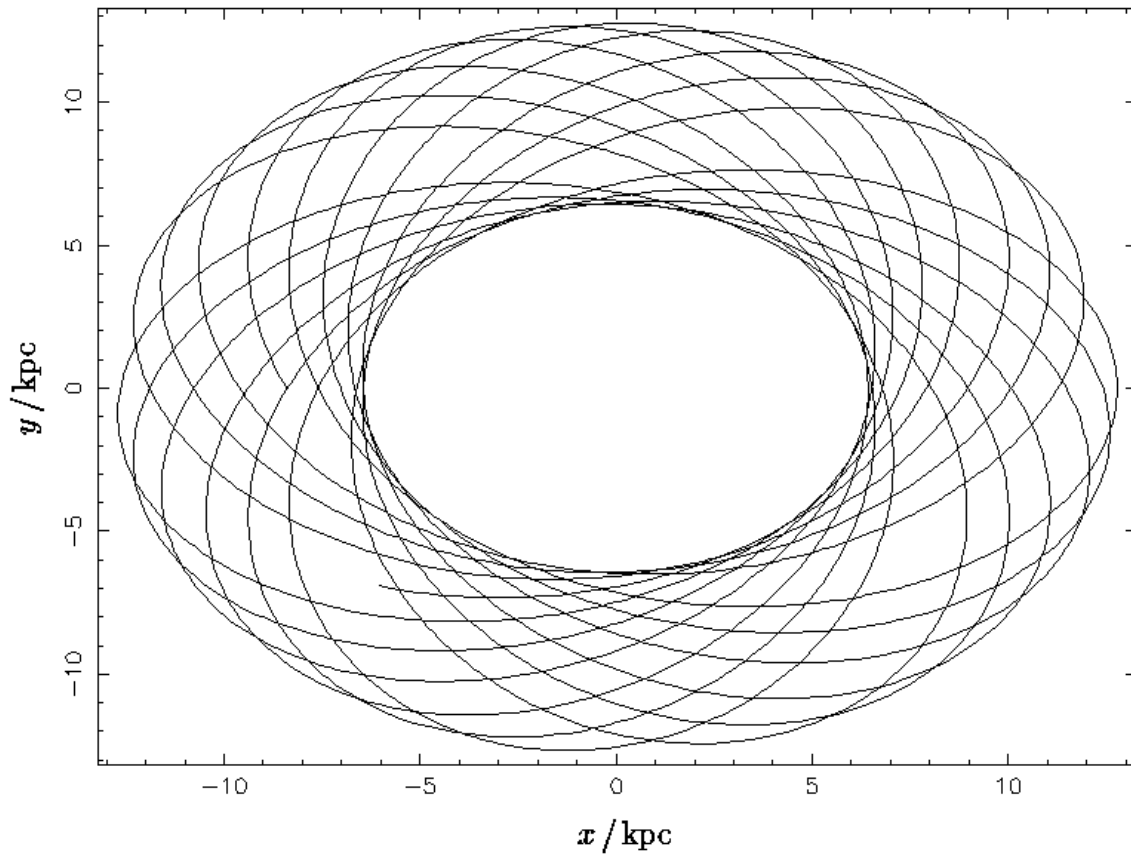


**Fig. 11.2:** Orbit von Barnard's Stern

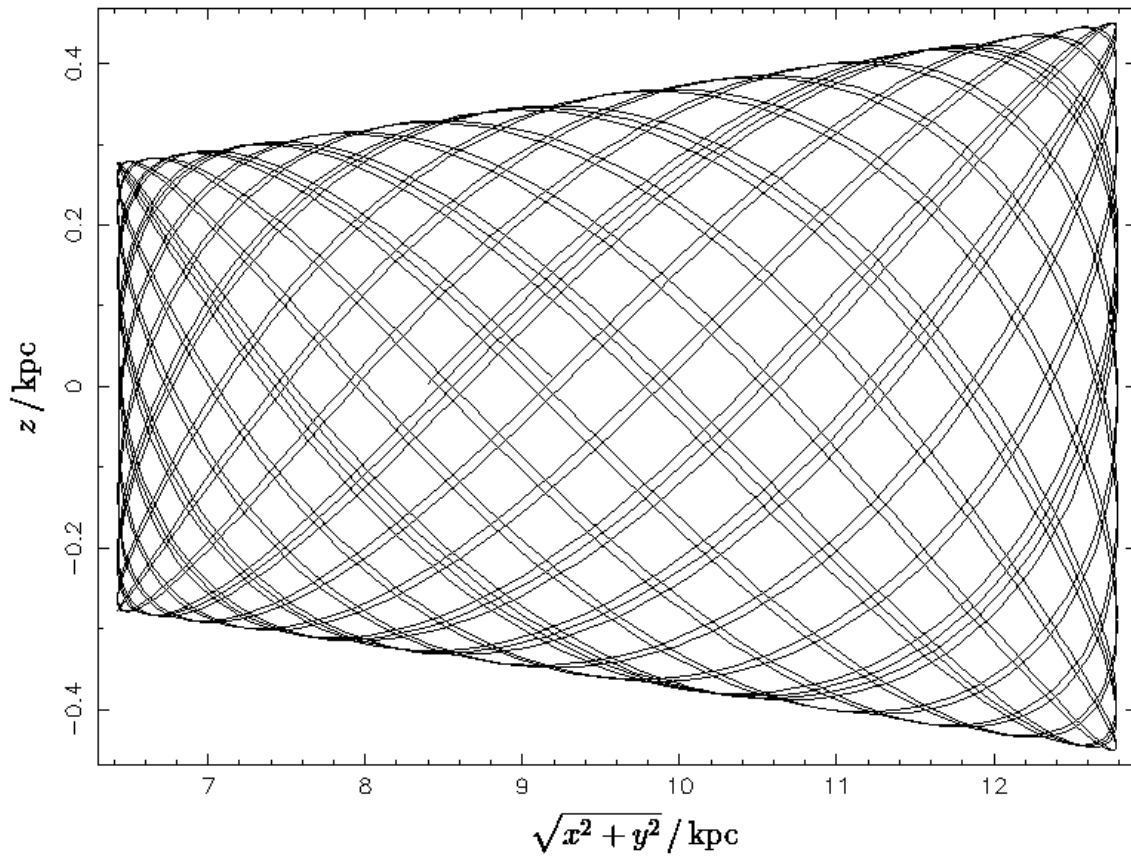




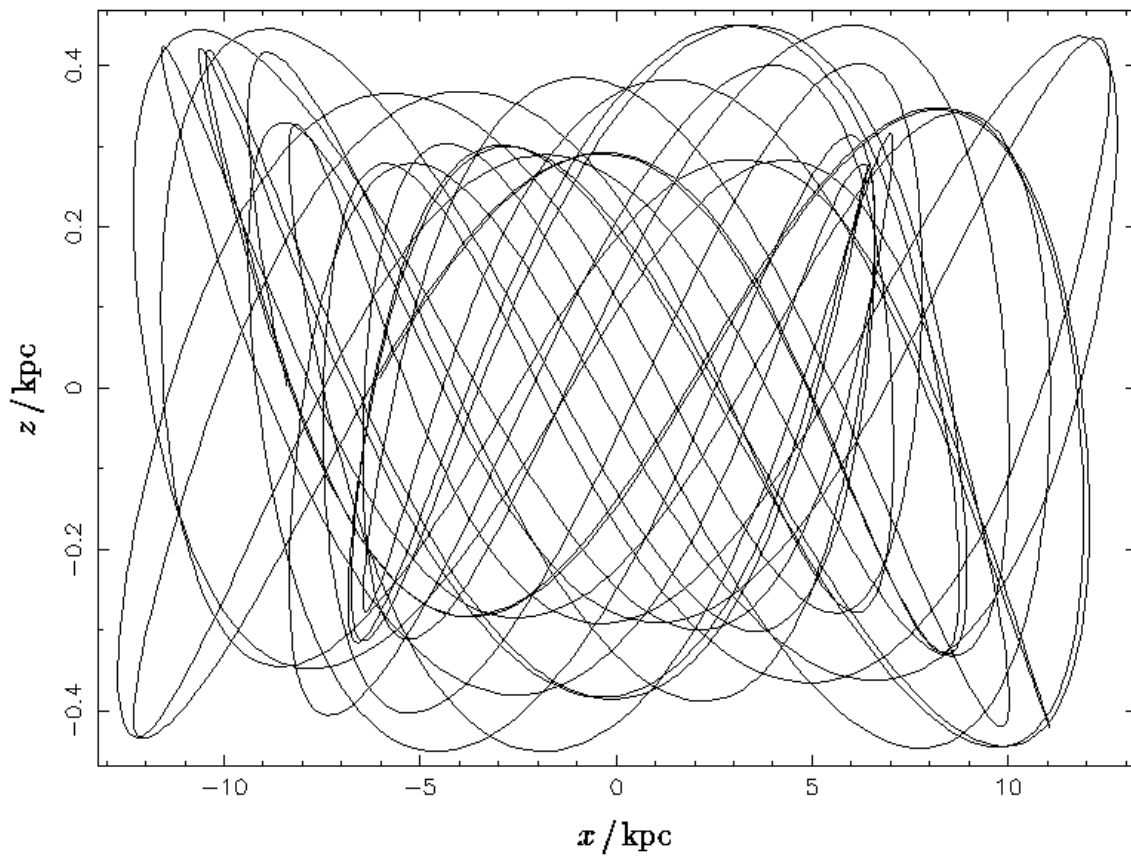
**Fig. 11.3:** Orbit von Barnard's Stern in der Edge-on-Ansicht der Scheibenebene



**Fig. 12.1:** In die Scheibenebene projizierter Orbit von System LHS 38



**Fig. 12.2:** Orbit von System LHS 38



**Fig. 12.3:** Orbit von System LHS 38 in der Edge-on-Ansicht der Scheibenebene

*(iv) Van Maanen's Stern*

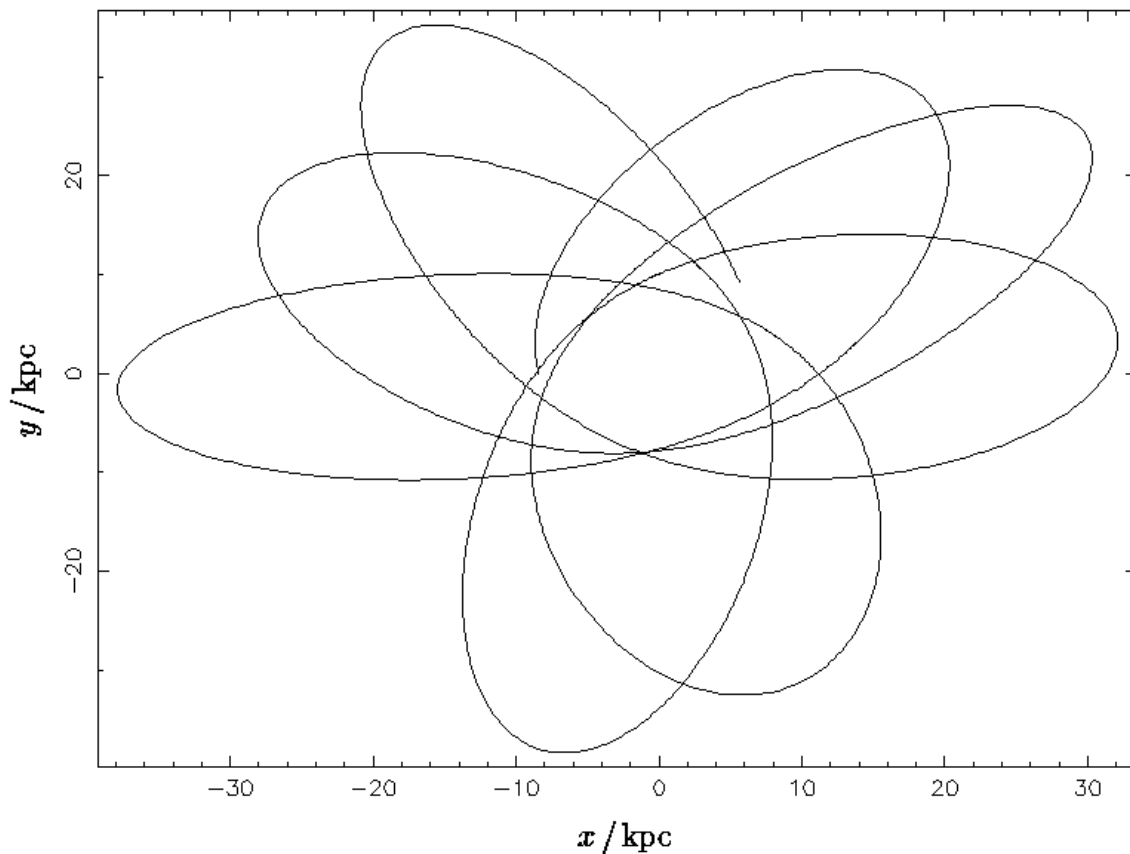
Hierbei handelt es sich um das interessanteste Mitglied der von mir als Halo-Kandidaten klassifizierten Gruppe. Es handelt sich um einen Weißen Zwerg mit 0.63 Sonnenmassen, dem Spektraltyp DZ8 und einem atypischen Metallgehalt der Oberfläche, dessen Ursprung jedoch vermutlich nicht von dem Stern selbst stammt, sondern der wie durch Fahiri et al. (2010) beschrieben aus Kollisionen mit planetarem Material bezogen worden sein könnte. Sein Alter wird auf 4.1 Milliarden Jahre geschätzt, wobei der Vorgänger-Stern mit 2.6 Sonnenmassen im Spektraltyp A angesetzt wird <sup>[19]</sup>. Obwohl Weiße Zwerge häufiger als andere Sterne der Scheibenpopulation angehören und der Spektraltyp des Vorgängersterns typisch für Sterne der Population I ist, gehört Van Maanen's Stern unter Berücksichtigung seines Orbits (s. Fig. 13.3) wohl zu den wenigen Ausnahmen, die zumindest gegenwärtig dem Halo zuzuteilen sind. Mit einer Raumgeschwindigkeit von über 400 km/s übertrifft seine Geschwindigkeit die anderer Sterne des Halos allerdings bei weitem, sodass in Hinblick auf sein geringes Alter davon auszugehen sein könnte, dass Van Maanen's Stern nach seiner Zeit als Hauptreihenstern innerhalb der letzten 3 Milliarden Jahre durch eine seltene stellare Streuung an einem schwereren Partner aus der Scheibenpopulation in den Halo katapultiert wurde.

Es sei allerdings ausdrücklich betont, dass die berechnete Gesamtgeschwindigkeit stark von der Radialgeschwindigkeit dominiert wird. Sollte diese deutlich geringer ausfallen als der zur Orbit-Simulation verwendete Wert  $v_{\text{rad}} = 234.6$  km/s, wäre auch die Trajektorie deutlich verschieden und eine Einteilung in den Halo womöglich nicht mehr gerechtfertigt. Dies ist für Van Maanen's Stern besonders deshalb außergewöhnlich relevant, da die Messwerte seiner Radialgeschwindigkeit unter den verfügbaren Katalogen eine signifikante Streuung aufweisen. Man findet  $v_{\text{rad}} = -38$  km/s mit der Anmerkung niedriger Messqualität in der Untersuchung durch Aannestad et al. (1993), 3 km/s mit einer Standardabweichung größer als 9 km/s durch Greenstein & Trimble (1967),  $263 \pm 5$  km/s durch Wilson (1953) und  $234.6 \pm 5.9$  km/s in der Hipparcos-Version von Van Leeuwen (2007). Da es sich bei letzterer als Aufarbeitung des Hipparcos-Katalogs um den aktuellsten und mit den modernsten Messgeräten gewonnenen Wert handelt, und der Wert von Wilson (1953) eine ähnliche Größenordnung zeigt, wählte ich im Rahmen dieser Arbeit die Radialgeschwindigkeits-Angabe von  $234.6 \pm 5.9$  km/s für Trajektorien-Simulationen von Van Maanen's Stern.

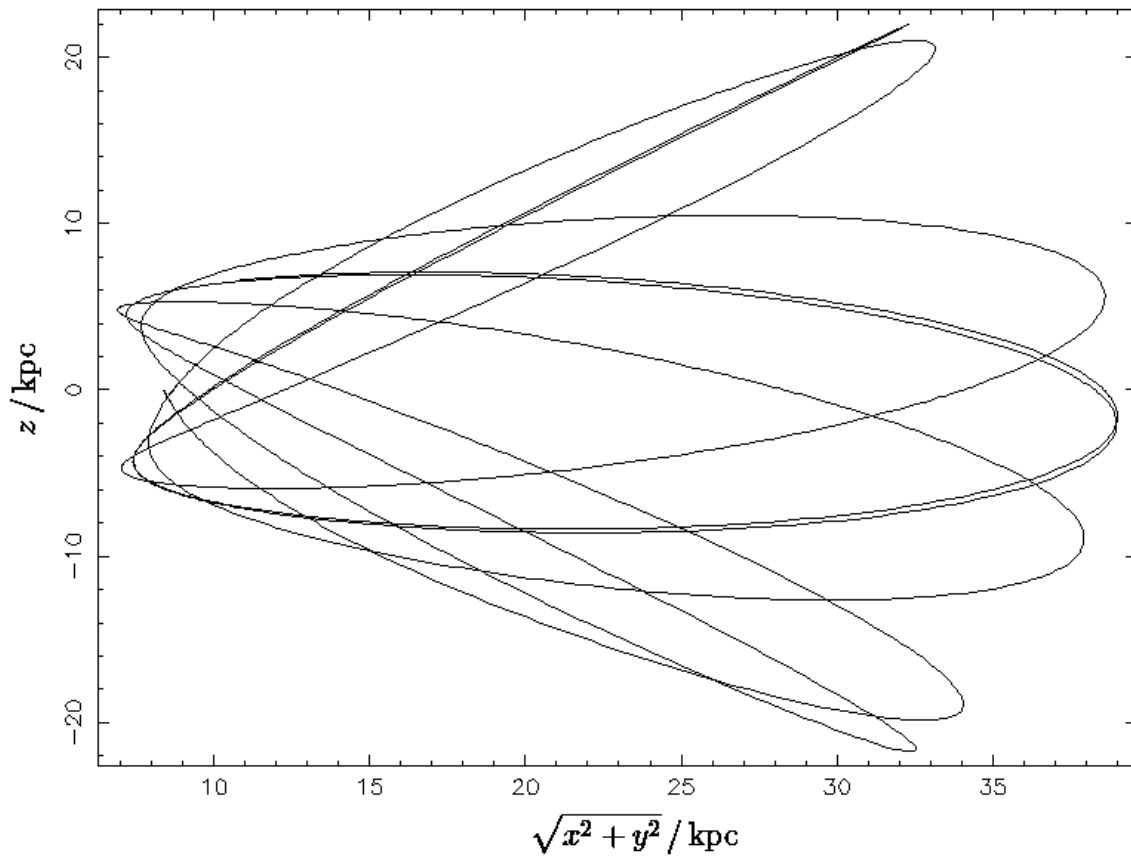
*(v) LHS 35 und 30 Cas*

Bei LHS 35 (bzw. Gliese 299) handelt es sich um einen Zwergstern des Spektraltyps M 4.5 mit 0.58 Sonnenmassen, der sich durch seine hohe Eigenbewegung auszeichnet. Bei 30 Cas handelt es sich um einen metall-armen Zwergstern des Spektraltyps G, die seltener sind als gemäß aktueller Modelle der Sternentstehung und -entwicklung zu erwarten wäre (s. Abschnitt 2.1).

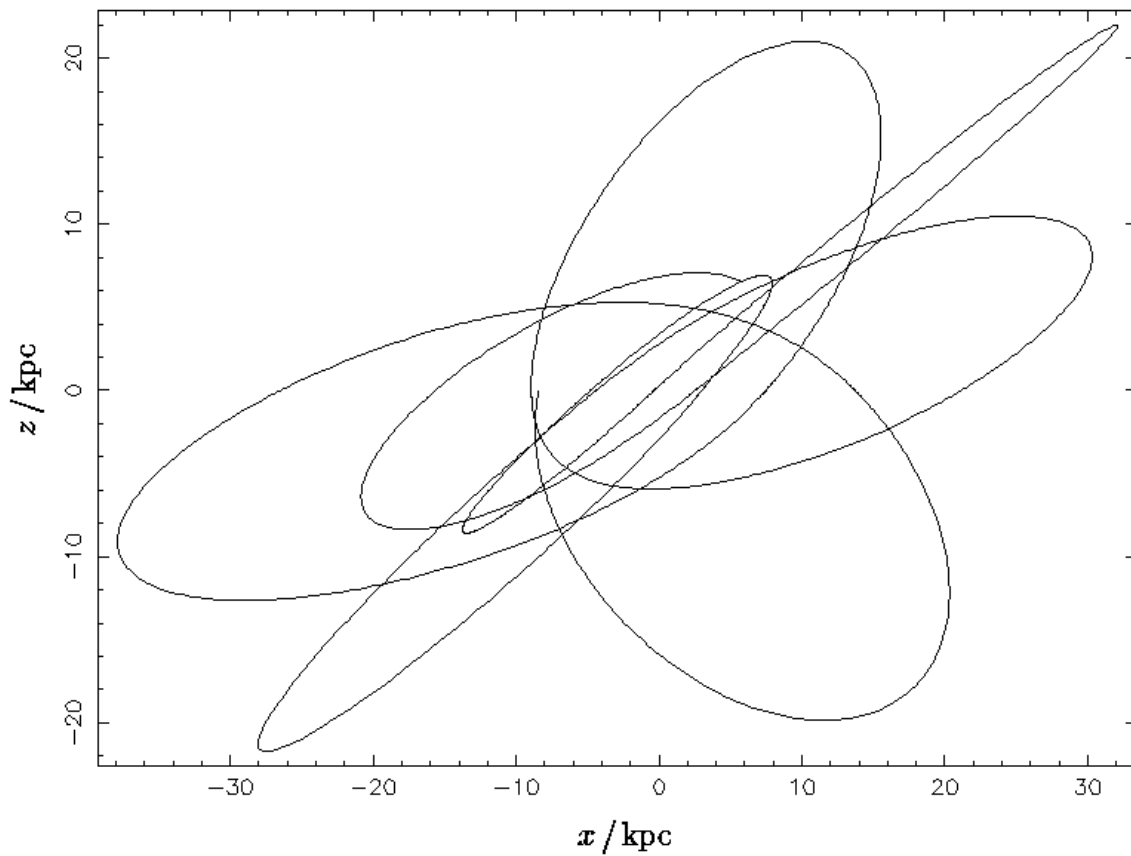
Diese beiden Systeme zählen zu den wenigen, die anhand des von Pauli (2004) vorgeschlagenen Klassifikationsschemas eindeutig der Dicken Scheibe zuzurechnen wären und im U-V-Diagramm nicht in das Überschneidungsgebiet der beiden Scheibenpopulationen fallen. Tatsächlich erweisen sich 30 Cas und LHS 35 bei Betrachtung ihrer simulierten Trajektorien als repräsentativ für eine Übergangsregion zwischen Dünner Scheibe und Halo. Die Exzentrizität der Orbits in der Scheibenebene errechnet sich für beide zu  $e \approx 0.60-0.65$ ; ferner finden sich maximale  $z$ -Auslenkungen von 0.6 kpc. Insbesondere der Orbit von LHS 35 weist eine interessante Struktur auf (s. Fig. 14.3). Der von Woolley et al. (1970) angegebene Wert für die Exzentrizität für LHS 35 von  $e = 0.07$  basierte vermutlich auf inzwischen überholten Daten.



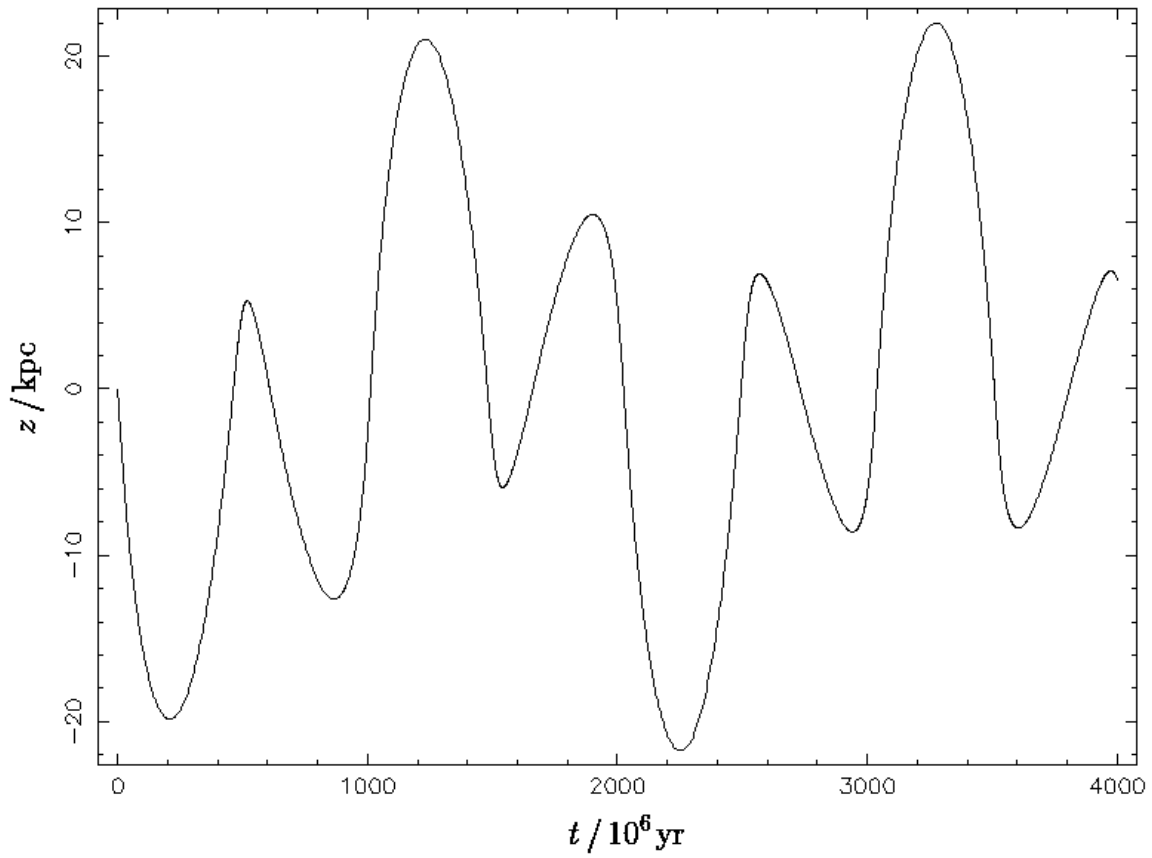
**Fig. 13.1:** In die Scheibenebene projizierter Orbit von Van Maanen's Stern



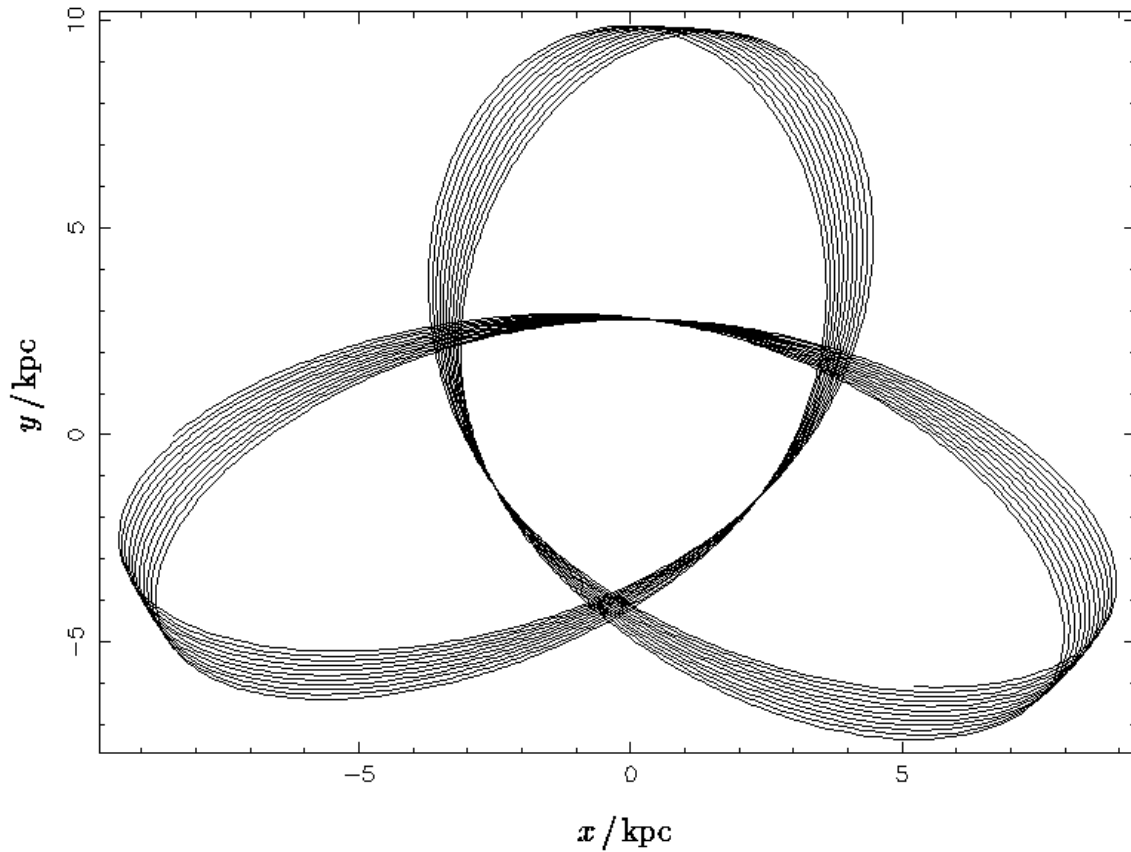
**Fig. 13.2:** Orbit von Van Maanen's Stern



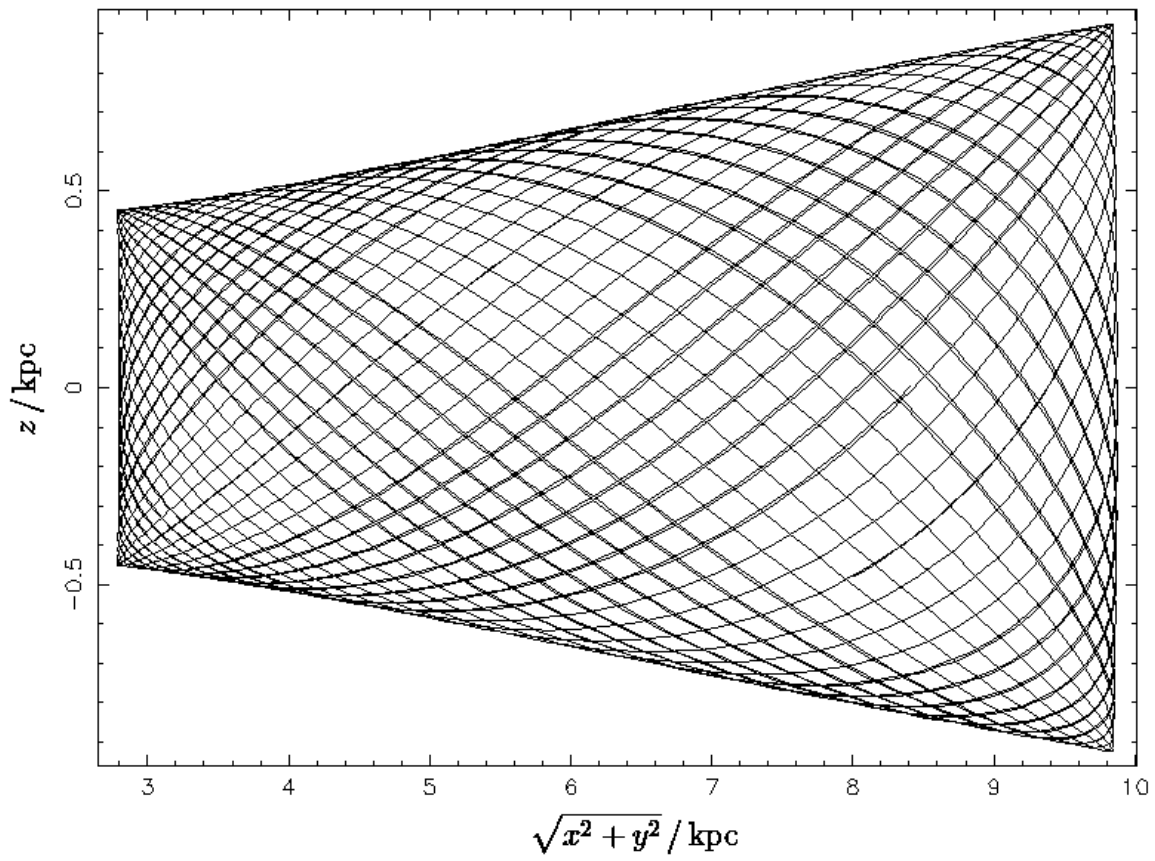
**Fig. 13.3:** Orbit von Van Maanen's Stern in der Edge-on-Ansicht der Scheibenebene



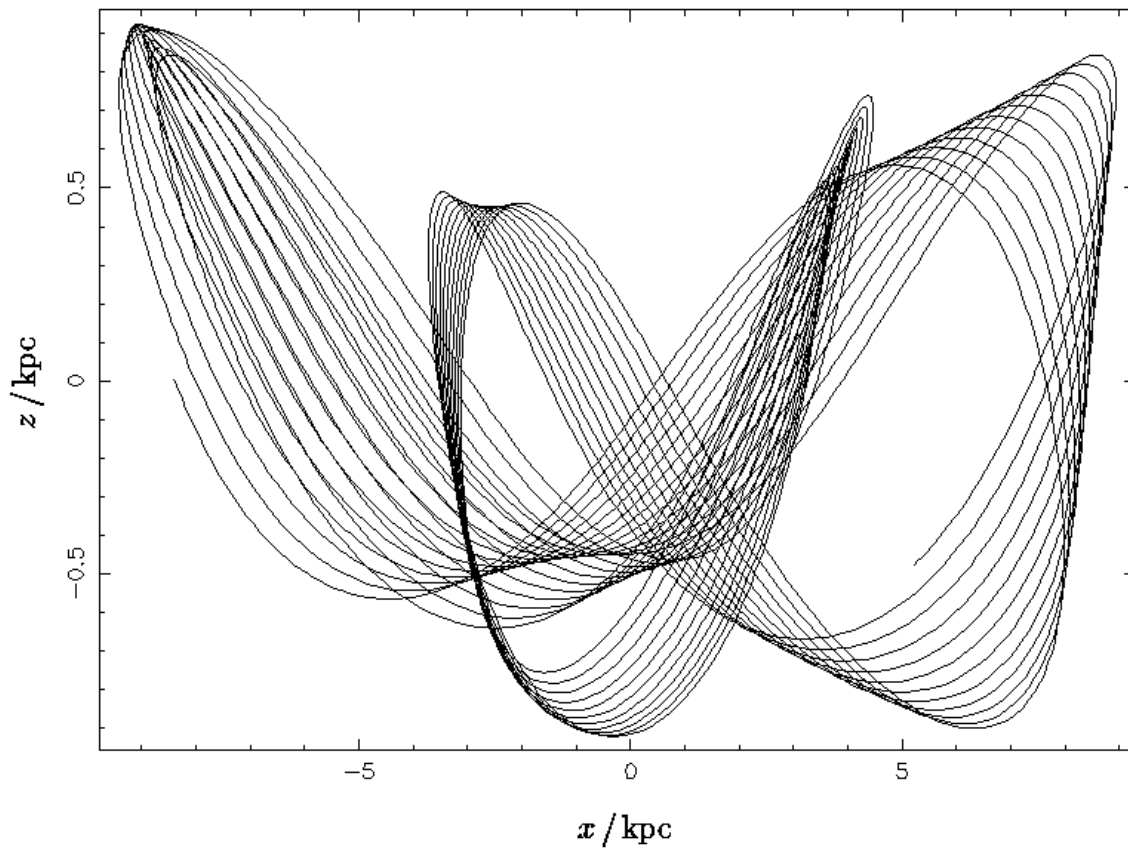
**Fig. 13.4:** Oszillation von Van Maanen's Stern um die Scheibenebene



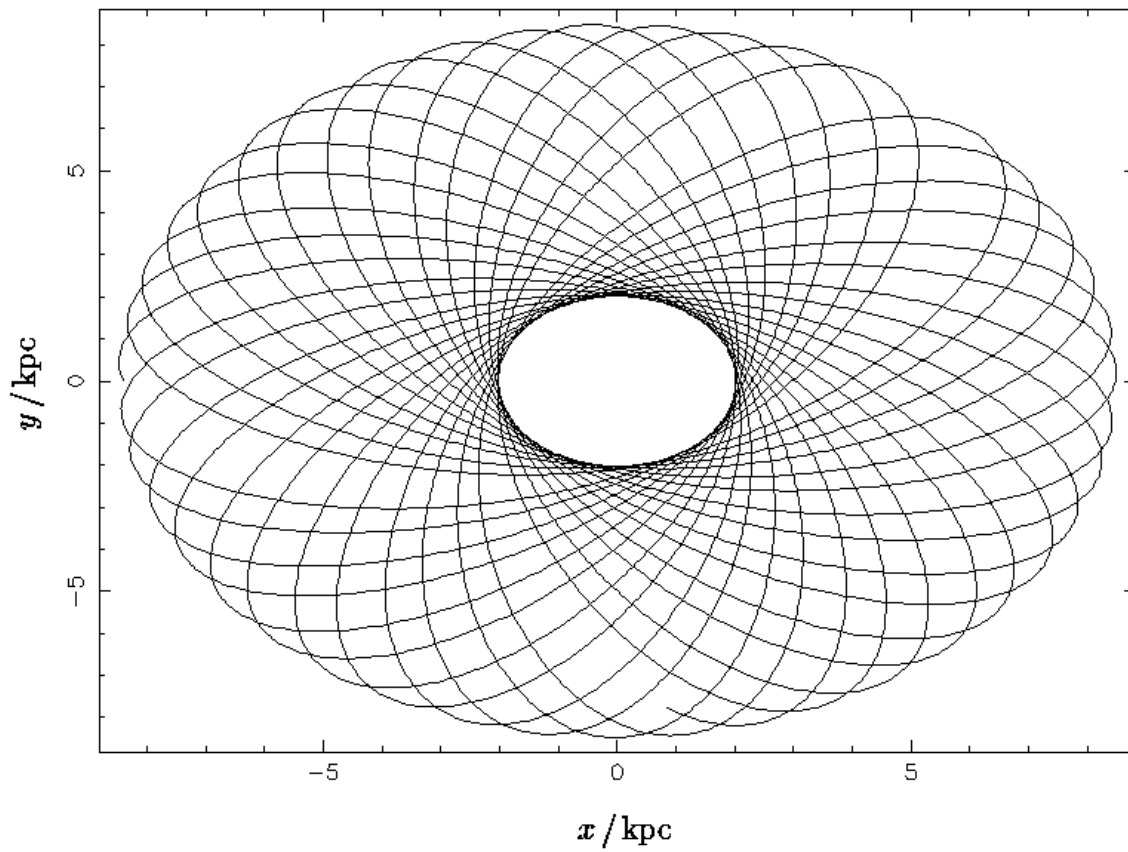
**Fig. 14.1:** In die Scheibenebene projizierter Orbit von LHS 35 in der Form eines sich drehenden Triquetra



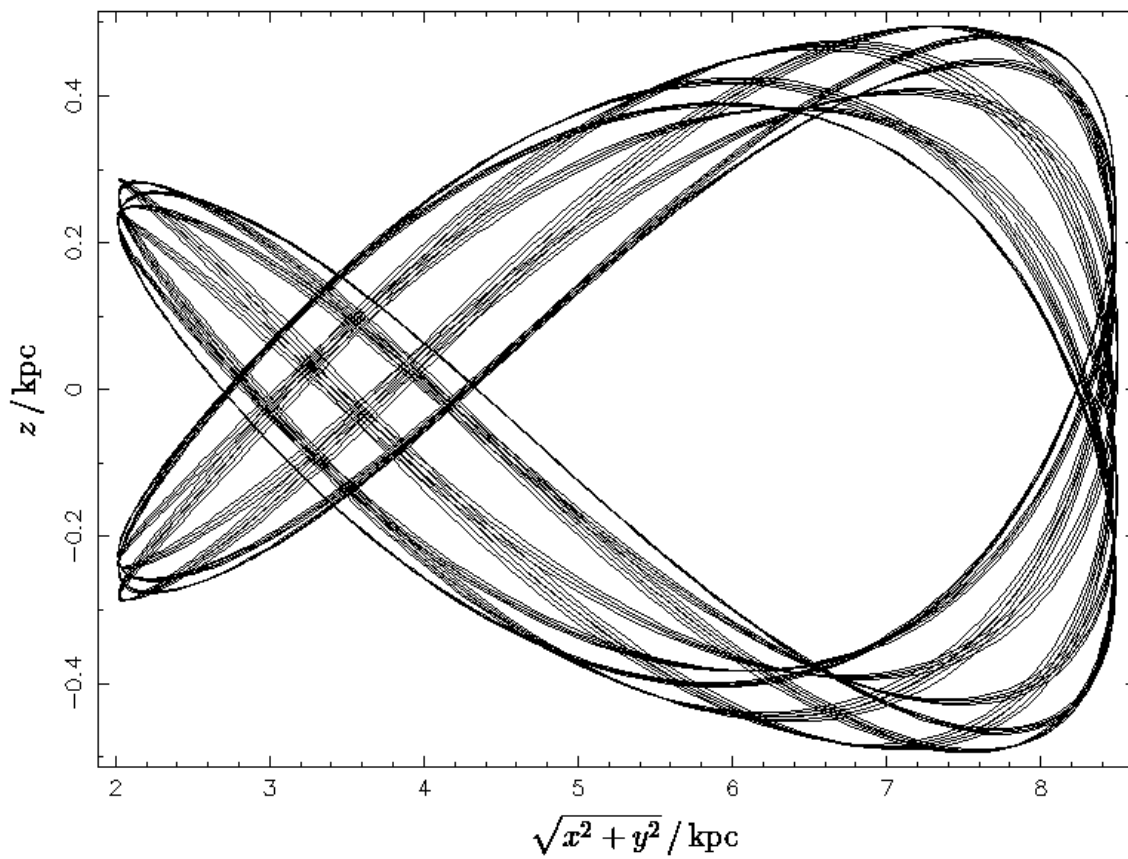
**Fig. 14.2:** Orbit von LHS 35



**Fig. 14.3:** Orbit von LHS 35 in der Edge-on-Ansicht der Scheibenebene

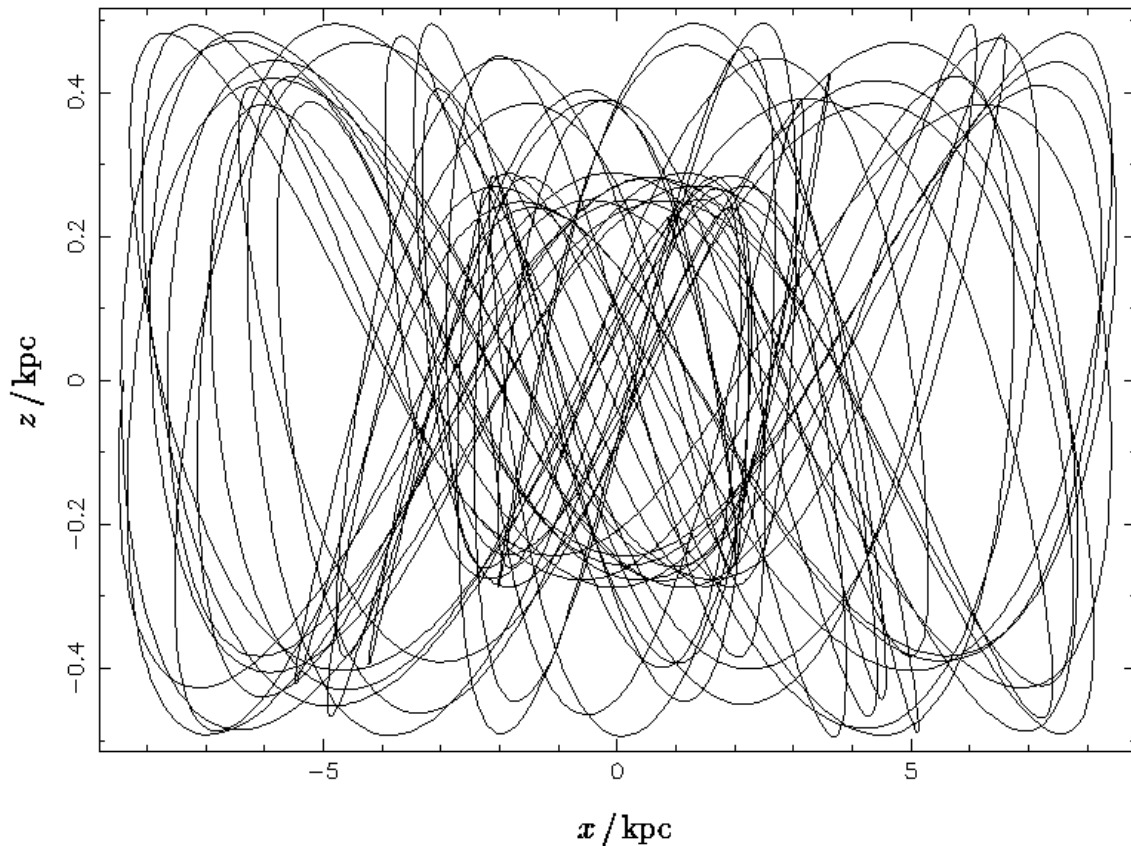


**Fig. 15.1:** In die Scheibenebene projizierter Orbit von 30 Cas



**Fig. 15.2:** Orbit von 30 Cas





**Fig. 15.3:** Orbit von 30 Cas in der Edge-on-Ansicht der Scheibenebene

## 5.2 Der Abstand zur Sonne

Betrachtet man zwei beliebige Sterne auf einer Ellipsenbahn mit geringer Exzentrizität um das galaktische Zentrum in der Scheibenebene, so kann der zeitliche Verlauf ihres Abstandes zumindest qualitativ leicht abgeschätzt werden. Durch eine Parametrisierung kann der Orbit eines Sterns dabei näherungsweise durch sechs Kenngrößen pro Stern dargestellt werden

$$\begin{aligned} x_i(t) &= a_i \cos(2\pi\omega_{x,i}t + \phi_{x,i}) \\ y_i(t) &= b_i \sin(2\pi\omega_{y,i}t + \phi_{y,i}) \end{aligned} \quad (19)$$

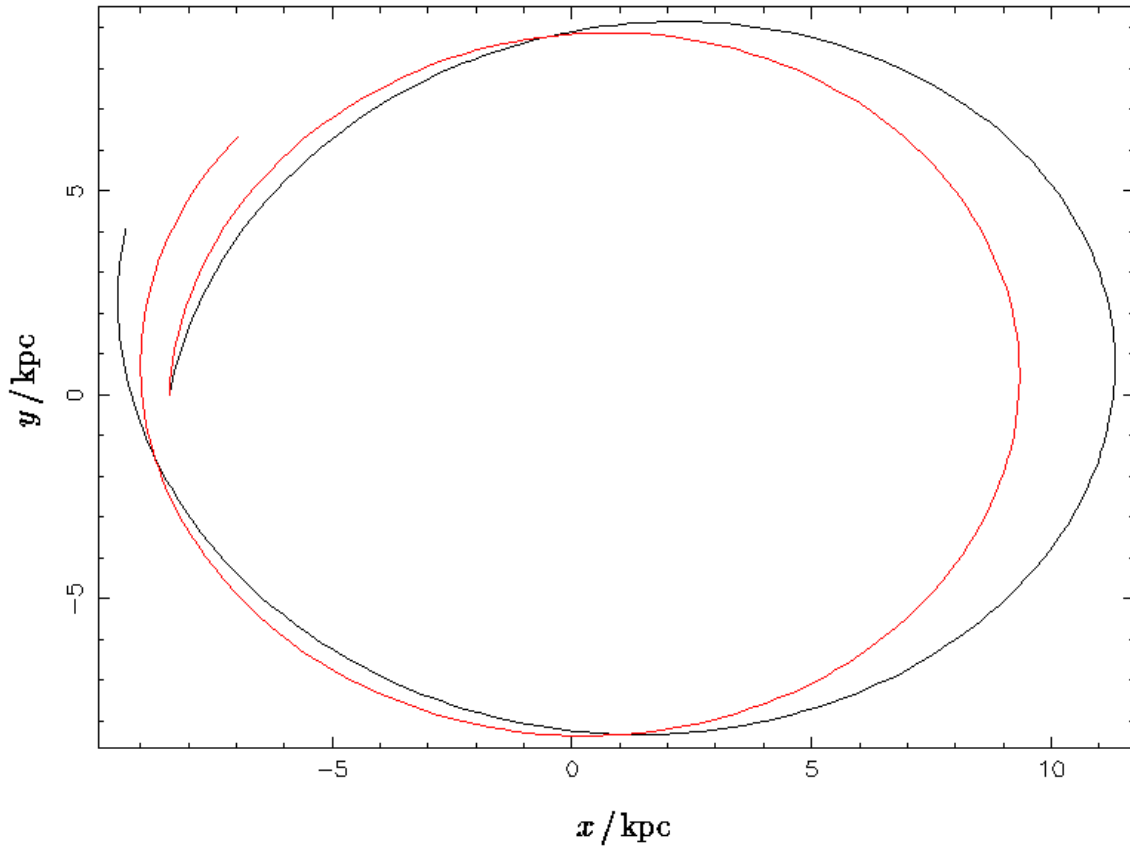
wobei  $i = 1, 2$  als Index dem jeweiligen Stern entspricht. Wählt man als Startpunkt der Bahndrehungen den selben Winkel  $\phi_{x,1} = \phi_{x,2}$ ,  $\phi_{y,1} = \phi_{y,2}$  und vernachlässigt für kleine Exzentrizitäten die Variabilität der Bahngeschwindigkeit in verschiedenen Regionen des elliptischen Orbits nach Kepler, kann der Abstand zwischen den beiden Sternen zu einem beliebigen Zeitpunkt ausgedrückt werden als

$$d(t)^2 = (x_1(t) - x_2(t))^2 + (y_1(t) - y_2(t))^2 \quad (20)$$

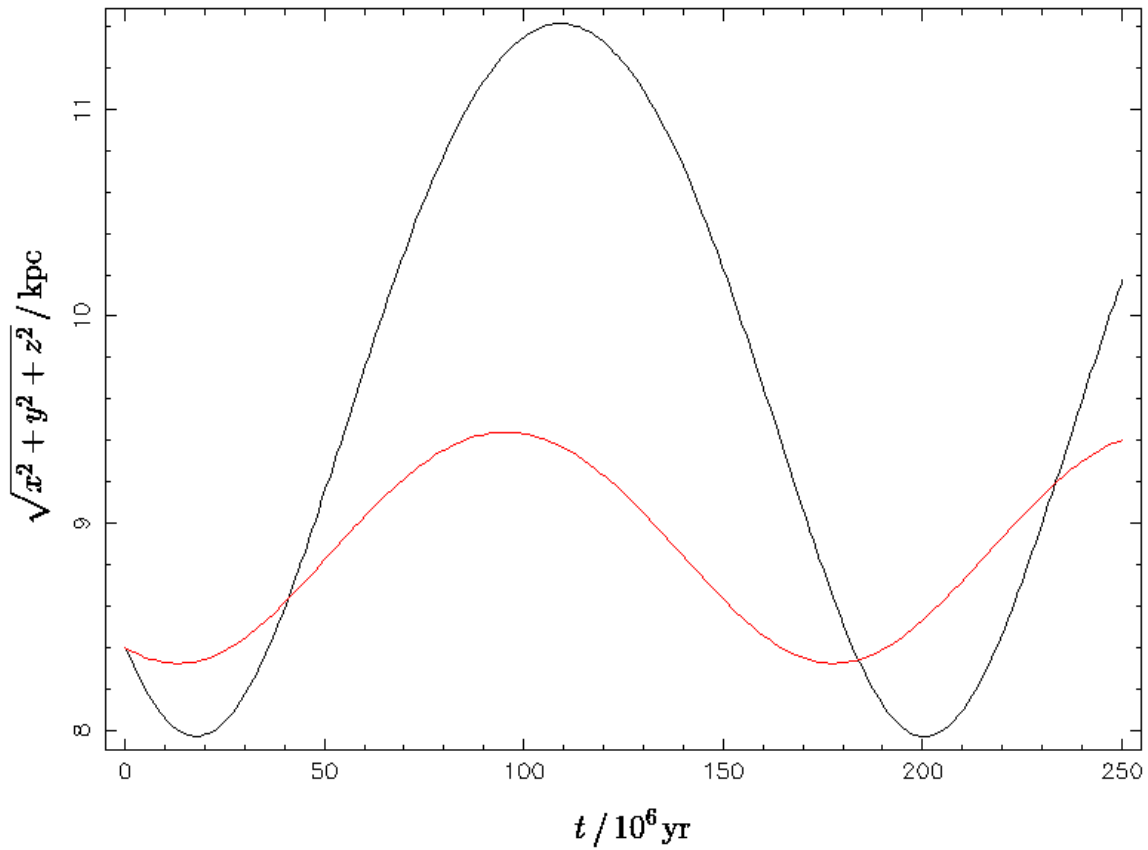
Handelt es sich bei den Orbits jeweils um Kreisbahnen ( $a_1 = b_1$ ,  $a_2 = b_2$ ) mit identischen Kreisfrequenzen ( $\omega_1 = \omega_2$ ), dann bewegen sich beide Sterne synchron und ihr Abstand ist konstant. Dieser Fall ist physikalisch aber wenig sinnvoll, da schon aus unterschiedlichen Halbachsen verschiedene Kreisfrequenzen resultieren müssen, sodass außer für den uninteressanten und unphysikalischen Fall von ( $a_1 = a_2 = b_1 = b_2$ ) sich eine nichtverschwindende Differenz zwischen den Winkelgeschwindigkeiten ergeben wird. Folglich wird eine sinusförmige Oszillation des Abstands zwischen einem Minimum und dem Maximum zu erwarten sein, wobei letzteres der Situation der Trennung der beiden Sterne durch die gesamte galaktische Distanz entspricht, da die sich zeitlich aufsummierende Winkeldifferenz sich schließlich zu einem halben Orbit addiert, der die beiden Sterne trennt. Die Größenordnung der Periode hängt somit direkt vom Betrag der Kreisfrequenzdifferenz  $\omega_1 - \omega_2$  ab und erweist sich als umso kürzer, je größer die Differenz ist. Komplizierter wird die Situation, wenn die Annahme der Kreisbahnen dem allgemeineren Fall von Ellipsen weicht, die planar in der Ebene der galaktischen Rotation liegen. Die vier Parameter  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$  und  $b_2$  können dann unterschiedliche Werte annehmen. Als direktes Resultat ist eine Überlagerung mit einer zusätzlichen Schwingung mit höherer Frequenz und geringerer Amplitude in der Abstandsfunktion zu erwarten, die sich aus einer leichten Elliptizität ergibt. Starten die Sterne nämlich mit gleicher Kreisfrequenz am selben Punkt, beschreiben dann aber Bahnellipsen mit verschiedenen Halbachsen, so werden für die Sterne bereits im Verlauf eines Orbits wiederholt zeitlich lokale Minima und Maxima ihres Abstands zu beobachten sein, da die Ellipsen Schnittpunkte aufweisen (s. Fig. 16.1).

Indem man schließlich noch für die Kreisfrequenzen  $\omega_{x1}$  und  $\omega_{y1}$  verschiedene Werte zulässt, kann auch einer Drehung der Apsidenlinie der elliptischen Orbits Rechnung getragen werden, sodass die für galaktische Sterntrajektorien physikalisch relevante Situation von Rosettenbahnen, bei denen sich die Ellipsen nicht ganz schließen, gut nachgeahmt wird.

Durch Veränderung der Parameter kann eine Vielzahl von Abstandsfunktionen generiert werden, welche die theoretische Erwartung des zeitlichen Verlaufs des Abstands der Sterne des 8pc-Samples zur Sonne widerspiegeln.



**Fig. 16.1:** Orbits von Sonne (rot) und Luyten 726-8 (schwarz) für die nächsten 250 Millionen Jahre



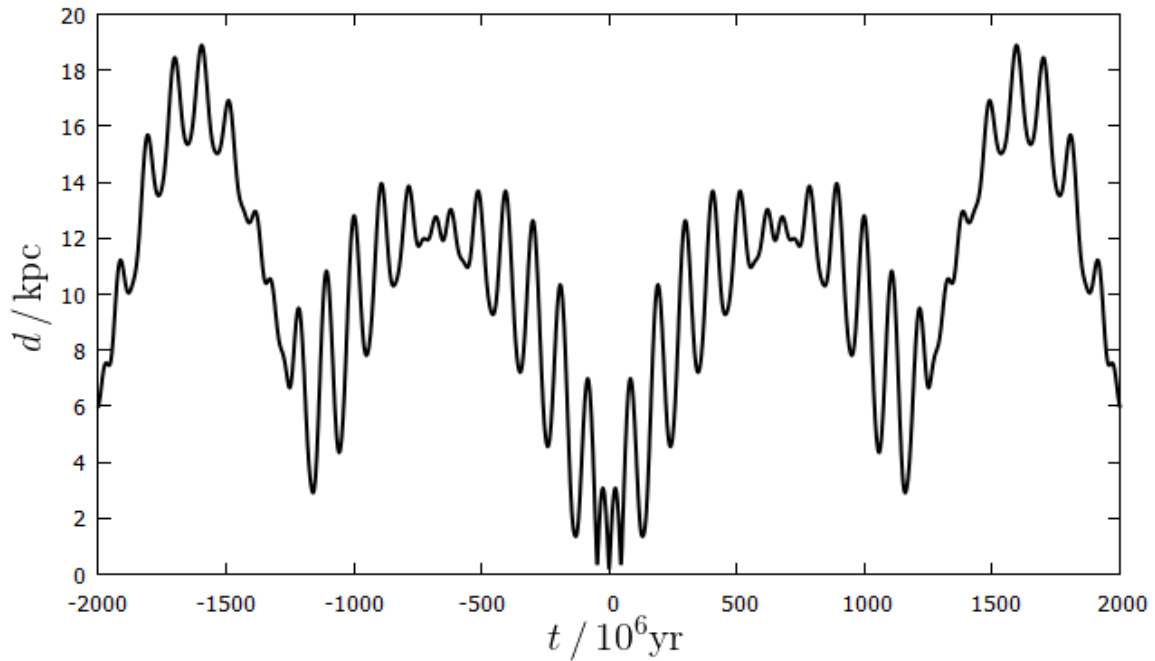
**Fig. 16.2:** Abstand von Sonne (rot) bzw. Luyten 726-8 (schwarz) zum galaktischen Zentrum

Es wurde über simulierte Trajektorien für alle Systeme der Samples A und B der zeitliche Abstand von der Sonne zwischen -4 und +4 Milliarden Jahren berechnet, wobei hier wie im folgenden negative Zeiten stets die Vergangenheit sowie positive Zeiten die Zukunft bezeichnen. Dabei wurde zusätzlich zu den 80000 gleich verteilten Zeitpunkten, zu denen in diesem Intervall die jeweiligen Positionen von einem betrachteten System und Sonne bestimmt wurden, eine kubische Interpolation zwischen diesen Punkten verwendet, um eine möglichst glatte Trajektorienkurve zu erhalten.

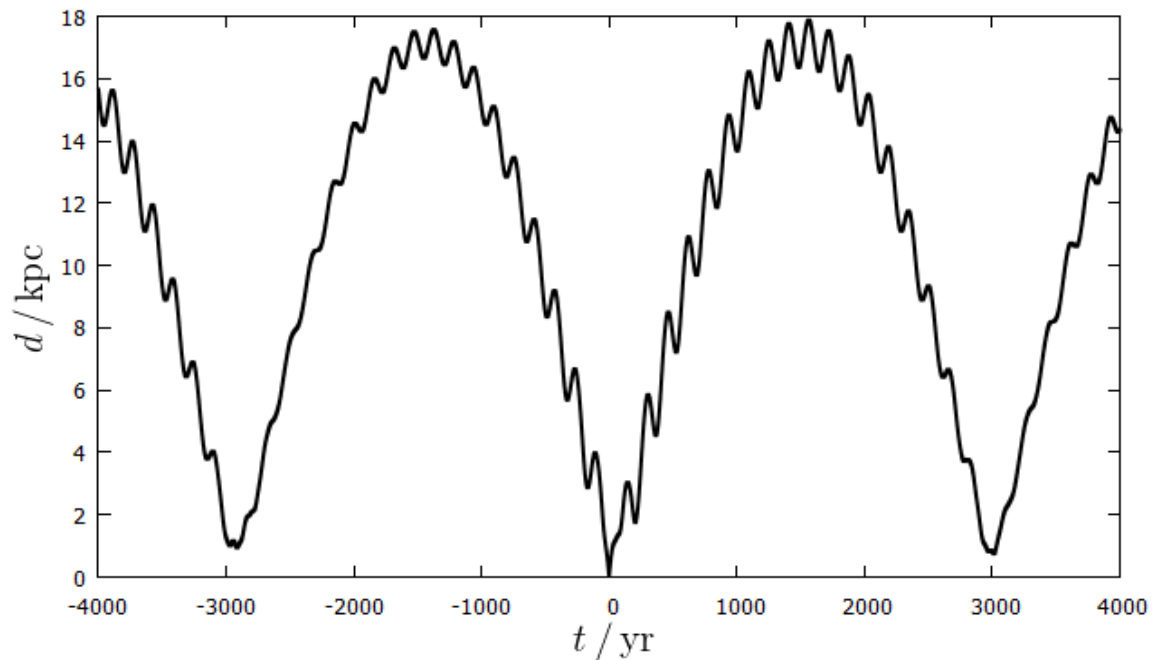
In der Tat deckt sich der Großteil der Abstandsfunktionen mit den theoretischen Erwartungen. Eine typische simulierte Abstandsfunktion ist in Fig. 17 dargestellt. Die realen Abstandsfunktionen lassen sich am besten durch die vier Extremfälle beschreiben, zwischen welchen die Distanzverläufe für alle 109 Systeme der Samples A und B bis auf zwei Ausnahmen eingeteilt werden können. Diesen Ausnahmen entsprechen die bereits in Abschnitt 4 angesprochenen Halo-Sterne Kapteyn's Stern und Van Maanen's Stern aufgrund ihrer chaotischen bzw. weitläufigen Orbits (s. Fig. 19.1, 19.2).

Um ein noch besseres Modell der Distanzverläufe zu erhalten wäre es möglich auch noch die geringen Schwingungen senkrecht zur Scheibenebene mit zu berücksichtigen, die nicht für alle Systeme zu vernachlässigen sind. Da sich die Schwingungen um die Scheibenebene allerdings für die meisten Systeme als gering gegenüber den Abstandsprojektionen auf die galaktische Scheibe erwiesen (vgl. Fig. 6.2), würde diese Erweiterung der Gleichungen (19) und (20) um eine z-Koordinate hauptsächlich zur Modellierung des Abstandsverlaufs solcher Systeme nutzen, die sich sehr weit von der Scheibe wegbewegen. Durch ein derart vervollständigtes Modell wäre es zudem möglich, die orbitalen Parameter von Systemen aus einem Fit der Gleichung (20) an den tatsächlichen Abstandsverlauf zu extrahieren. Da dieser Verlauf im Rahmen meiner Arbeit für alle untersuchten Systeme jedoch ebenfalls auf Simulationen beruht, wäre es in diesem Fall leichter, die orbitalen Parameter direkt über den Orbitcalculator zu erhalten.

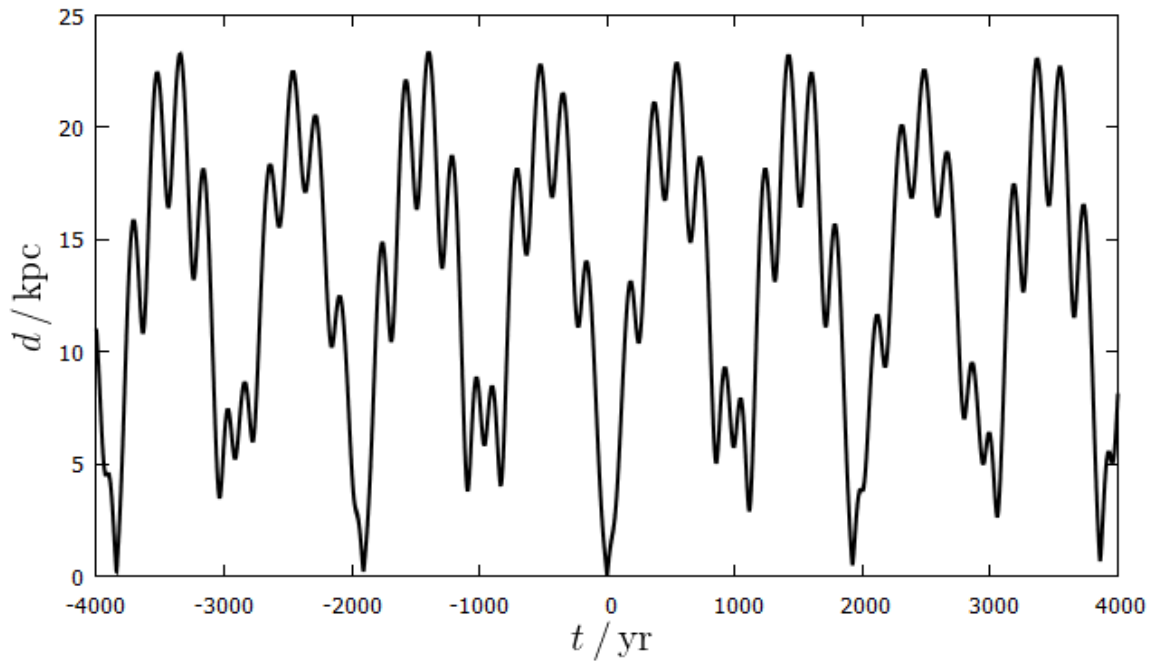
Es zeigte sich, dass in der durch den Stern  $\sigma$  Draconis vertretenen Gruppe der kurz-periodisch oszillierenden Abstandsverläufe auffällig viele Sterne der Dicken Scheibe vertreten sind. Es ist direkt ersichtlich, dass dies auf die in Abschnitt 4 angesprochene geringere mittlere Rotationsgeschwindigkeit der Sterne der Dicken Scheibe zurückzuführen ist, denn die Periode der Haupt-Oszillationen erweist sich im zeitlichen Abstandsverlauf als umso kleiner, je größer die Differenz der Rotationsgeschwindigkeit zwischen einem Stern und der Sonne ist. Da diese jedoch der Dünnen Scheibe angehört, ist im allgemeinen von einer größeren Differenz für Sterne der Dicken Scheibe auszugehen.



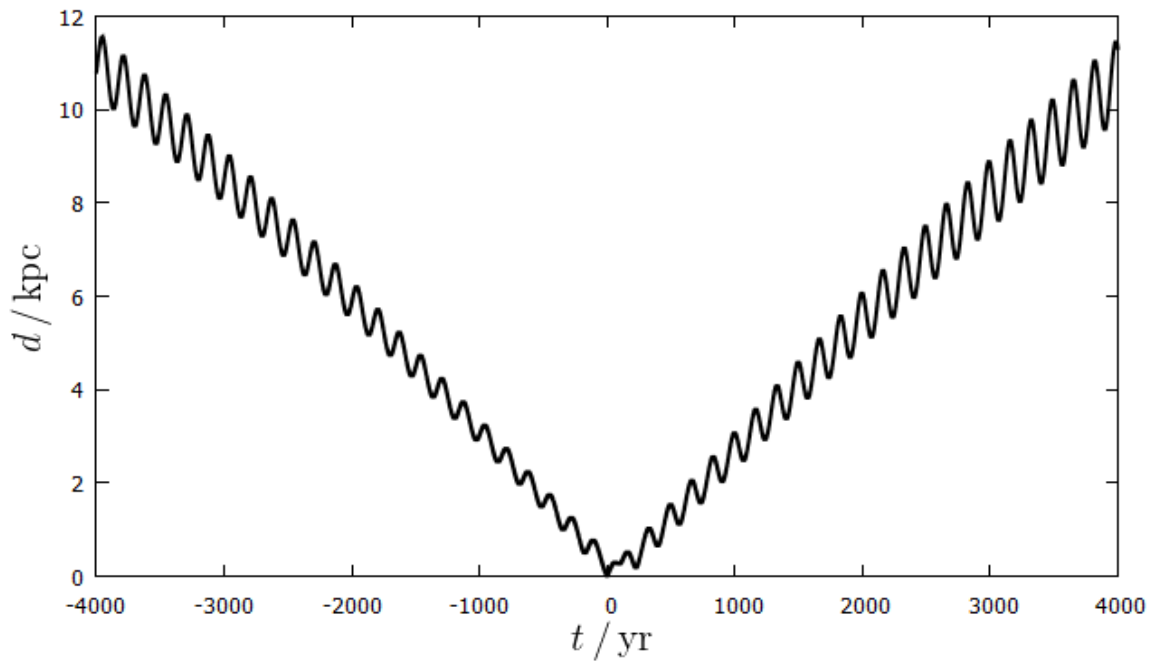
**Fig. 17:** Typischer simulierter Abstandsverlauf. Parameter:  $a_1 = 8.6$  kpc,  $a_2 = 8.4$  kpc,  $b_1 = 7.8$  kpc,  $b_2 = 4.0$  kpc,  $\omega_{x1} = 1.0 \cdot 10^{-6}$  yr,  $\omega_{x2} = 1.0004 \cdot 10^{-6}$  yr,  $\omega_{y1} = 1.0005 \cdot 10^{-6}$  yr,  $\omega_{y2} = 1.0009 \cdot 10^{-6}$  yr.



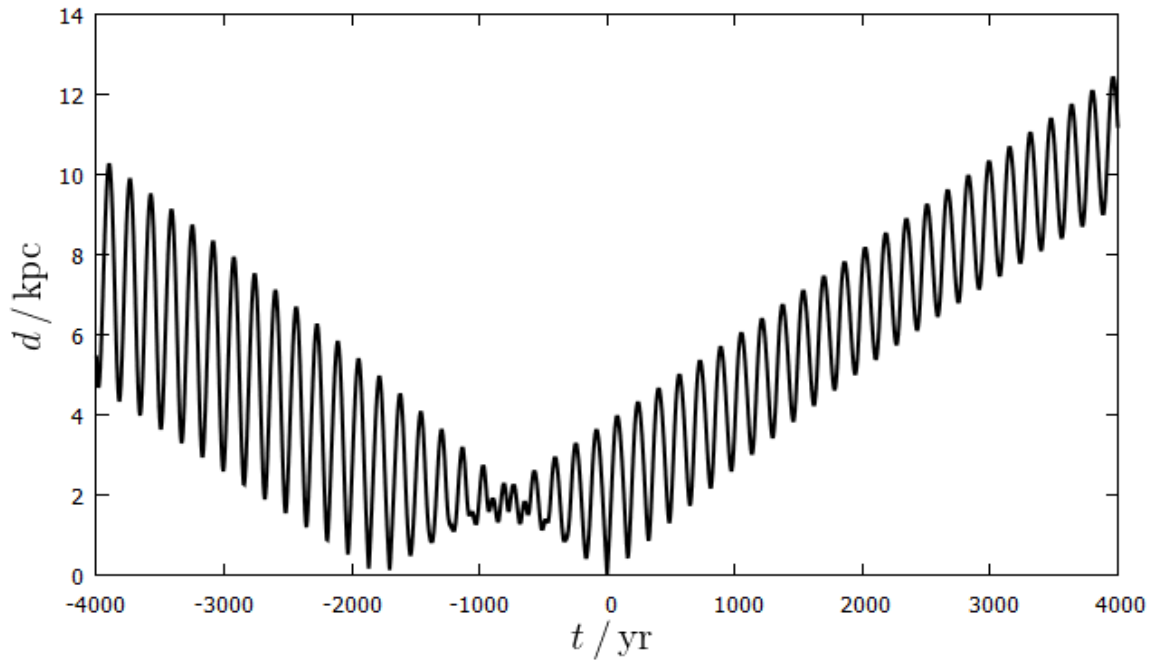
**Fig. 18.1:** Abstandsverlauf zwischen Sonne und Stern LHS 1723 mit Haupt-Oszillation mittlerer Periode.



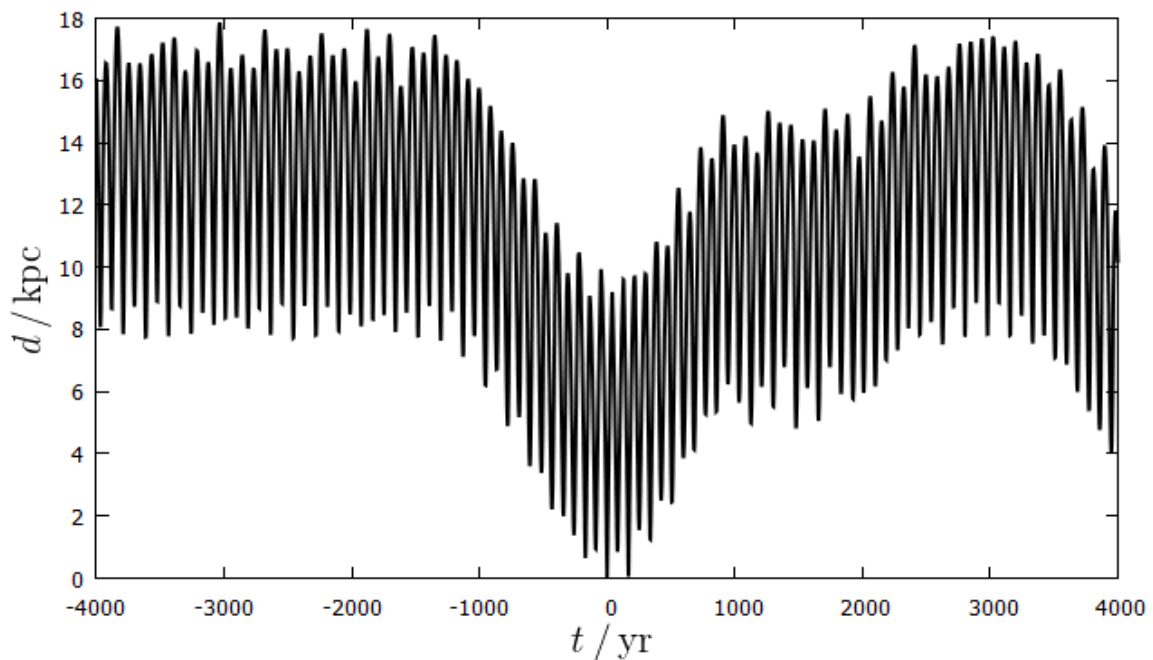
**Fig. 18.2:** Abstandsverlauf zwischen Sonne und Stern  $\sigma$  Draconis mit kurz-periodischer Haupt-Oszillation.



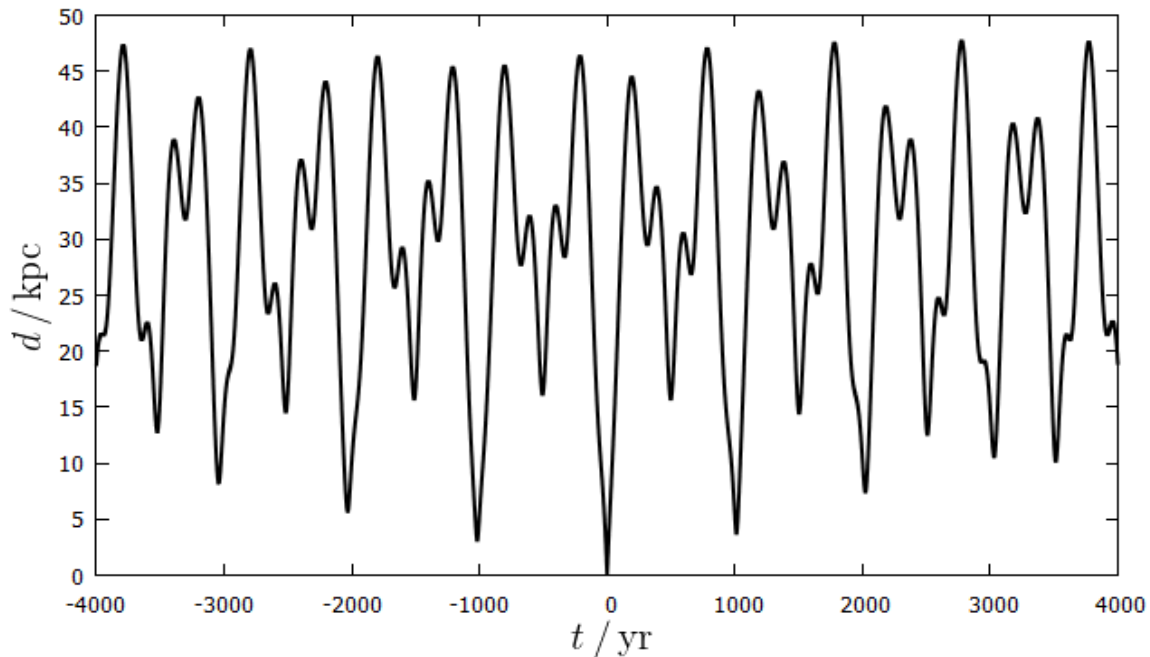
**Fig. 18.3:** Abstandsverlauf zwischen Sonne und System  $\xi$  Boo mit lang-periodischer Haupt-Oszillation.



**Fig. 18.4:** Abstandsverlauf zwischen Sonne und System LDS 6334 mit doppelter Annäherung.



**Fig. 19.1:** Abstand zwischen Sonne und Kapteyn's Stern. Aufgrund des chaotisch anmutenden Orbits des Halo-Sterns erweist sich auch der zeitliche Verlauf der Distanz der beiden Sterne als nicht periodisch auf realistischen Zeitskalen.



**Fig. 19.2:** Abstand zwischen Sonne und Van Maanen's Stern. Mit einem maximalen Abstand von 50 kpc ist Van Maanen's Stern das System der 8pc-Sonnenumgebung, das sich innerhalb der nächsten Millionen Jahre voraussichtlich am weitesten von der Sonne entfernen wird.

### 5.3 Beeinflussung des Sonnensystems durch stellare Annäherungen

Aus der in Fig. (18.1 – 18.4) dargestellten langfristigen Zeitentwicklung von Distanzen zwischen der Sonne und typischen Sternen der 8pc-Umgebung ist ersichtlich, dass die charakteristischen Zeitskalen, in denen ein Stern sich im 8pc-Umkreis aufhält, sehr klein sind. Tatsächlich legen die vorliegenden Modelle nahe, dass im zeitlichen Intervall von -1.5 bis +1.5 Millionen Jahren sämtliche maximalen Annäherungen der Sterne des 8pc-Samples an die Sonne stattgefunden haben bzw. stattfinden werden; es ist daher schon in wenigen Millionen Jahren ein vollständiger Austausch der sonnennächsten Sterne gegen solche zu erwarten, die momentan noch nicht einmal im 8pc-Umkreis zu finden sind. Die hohe Anzahl der Roten und Braunen Zwergsterne impliziert, dass schon in kosmologisch nächster Zukunft leuchtschwache Sterne die engsten Nachbarn der Sonne darstellen könnten, die heute noch gar nicht bekannt sind. Um den maximalen Einfluss von Sternen des 8pc-Samples auf das Sonnensystem einzuschätzen, ist es daher ausreichend einen Zeitraum zwischen -1.5 und +1.5 Millionen Jahren zu betrachten.

Die zehn Sterne, die von allen Mitgliedern der Samples A und B der Sonne zu einem Zeitpunkt im genannten Zeitintervall am nächsten kommen ( $d < 2\text{pc}$ ), sind mit ihren Minimalabständen und dem



Zeitpunkt ihrer geringsten Distanz in Tab. 5 aufgelistet. Um die räumlichen und zeitlichen Unsicherheiten der engsten Annäherung der Systeme zu bestimmen, führte ich im Monte-Carlo-Verfahren für jeden der Sterne 1000 Trajektorienimulationen mit 15000 Bewegungsschritten für den Zeitraum zwischen -1.5 und +1.5 Millionen Jahren durch, deren kinematische Parameter abhängig von den Unsicherheiten der Ausgangsdaten normal verteilt wurden. Durch Anpassungen von Gauß-Profilen an die Verteilung der daraus erhaltenen Trajektorienbündel konnten die Ein-Sigma-Grenzen der berechneten engsten Begegnungszeiten und -distanzen statistisch genau bestimmt werden (s. Tab. 5).

Zum Vergleich ist auch Gliese 710 geführt, der mit einer gegenwärtigen Parallaxe von 51.12 mas zwar nicht in das im Rahmen meiner Arbeit zu untersuchende 8pc-Gebiet fällt, der aber gemäß Bobylev (2010) in  $1.4 \cdot 10^6$  Jahren eine Annäherung auf  $0.311 \pm 0.167$  pc vollziehen wird, womit es sich bei Gliese 710 um den Stern mit der größten bisher bekannten Annäherung an die Sonne handelt, zu der es innerhalb der nächsten 10 Millionen Jahre kommen wird.

Insgesamt nähern bzw. näherten sich in dem von mir hauptsächlich untersuchten Zeitintervall von -1.5 bis +1.5 Millionen Jahren vier Systeme auf weniger als ein Parsec an die Sonne an. Es handelt sich dabei u.a. um das bekannte Mehrfachsystem  $\alpha$  Centauri / Proxima Centauri (PMSC 14328-6025), den Roten Zwerg HH And (Ross 248) sowie Van Maanen's Stern, dessen Passage bereits 15000 Jahre zurück liegt. Dabei weicht mein Ergebnis für letzteren als einziges signifikant von den Ergebnissen zu den engsten stellaren Annäherungen von García-Sánchez et al. (1991, 2001) und Bobylev (2010) ab, die eine Minimaldistanz von 3.327 pc in 135000 Jahren angeben, da wie bereits in Abschnitt 4 dargelegt sehr unterschiedliche Radialgeschwindigkeits-Angaben für diesen Stern vorliegen und der von mir verwendete Wert von  $v_{\text{rad}} = 234.6$  km/s von jenen in genannten Untersuchungen abweicht.

Als bemerkenswert erweist sich der vierte Stern, HIP 67593, bei dem es sich um den Stern mit der engsten gefundenen Annäherung handelt. Diese liegt schon  $1.174 \pm 0.464$  Millionen Jahre zurück und sie trug den Stern bis auf  $0.44 \pm 0.43$  pc an das Sonnensystem heran, möglicherweise bis innerhalb der äußeren Grenzen der Oortschen Wolke. Obwohl wie im Fall von HD 113447 die Parallaxe  $187.76 \pm 66.41$  mit hohen Unsicherheiten behaftet ist, liegt im Gegensatz zu diesem hier kein Widerspruch zu einer früheren Parallaxenmessung mit kleineren Unsicherheiten vor. Die einzige weitere Messung der Parallaxe liefert  $76 \pm 107$  mas<sup>[20]</sup>, was mit dem verwendeten Wert von Van Leeuwen (2007) vereinbar ist. Da leider noch keine Bestimmung des Spektraltyps von HIP 67593 vorliegt, berechnete ich auf Basis der Angabe seiner visuellen Helligkeit von  $V = 11.38^m \pm 0.09^m$  durch Hog et al. (2000) anhand von

$$m_{\star} = m_{\text{Sonne}} - 2.5 \log_{10} \left( \frac{L_{\star} d_{\star}}{L_{\text{Sonne}} d_{\text{Sonne}}} \right) \quad (21)$$

eine Leuchtkraft von 0.69-facher Sonnen-Leuchtkraft. Diese kann für einen Hauptreihenstern näherungsweise mit dem Spektraltyp G6 identifiziert werden <sup>[21]</sup>, was nach Gl. (17) einer Masse von ca. 0.9 Sonnenmassen entspricht.

Die berechnete Annäherung der beiden erstgenannten Systeme sowie der Sterne LHS 2459 (Gliese 445), Lalande 21185, FI Vir (Ross 128) und Barnard's Stern decken sich sowohl bezüglich der Begegnungszeitpunkte als auch hinsichtlich der Minimalabstände mit den Ergebnissen von García-Sánchez et al. (2001).

Hervorzuheben bleibt, dass es sich bei 7 von 11 der von mir als nächste Besucher identifizierten Sterne um solche des Spektraltyps M handelt, was bei der Häufigkeit von Sternen dieses Typs in der Galaxis nicht überrascht.

**Tab. 4.1:** Engste Annäherungsdistanzen in pc (D) und -zeitpunkte in Millionen Jahren (T) für alle Systeme der Samples A und B.

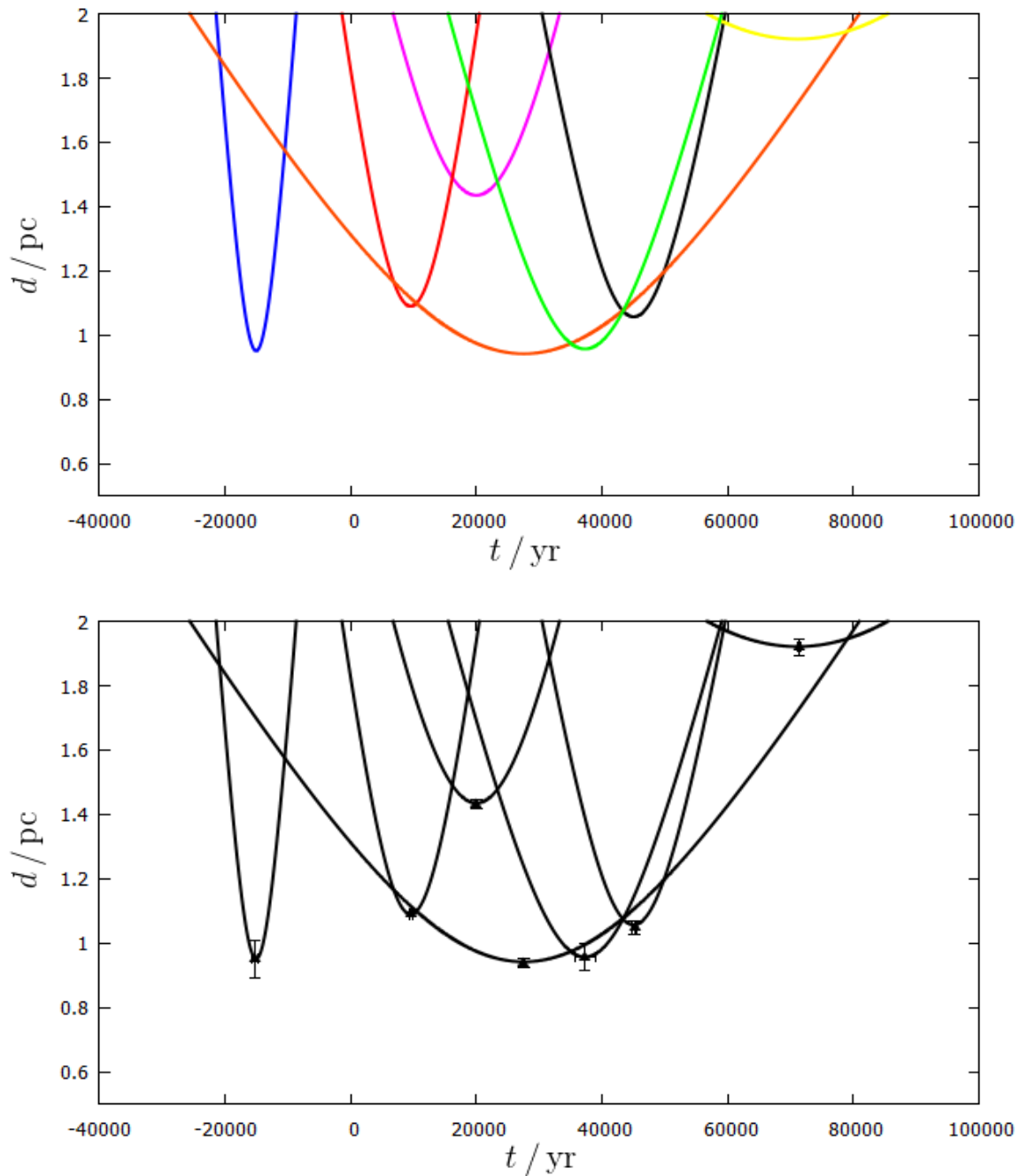
System	T	D	System	T	D
2MASS J03393521-3525440	-0.237	3.94	ksi Boo	-0.500	5.86
2MASS J1048147-395606	0.041	3.78	KX Lib Sys	-0.039	5.30
2MUCD 11296	0.113	4.46	LAL 21185	0.020	1.43
30 Cas	0.026	6.13	LDS 6334	-0.069	4.59
61 Cyg	0.019	2.78	LHS 2	0.048	3.78
107 Psc	0.135	4.68	LHS 19	-0.033	4.33
AD Leo	-0.204	3.15	LHS 38 Sys	-0.021	4.06
ADS 7251 AB	-0.027	5.80	LHS 121	0.037	7.21
alf Aql	0.140	2.69	LHS 146	0.043	3.27
AN Sex	-0.356	5.19	LHS 352	-0.035	7.36
AX Mic	-0.019	3.72	LHS 447	0.063	6.87
Barnard's Stern	0.010	1.15	LHS 486	0.040	2.04
bet Hyi	-0.024	7.17	LHS 533	0.081	6.01
BR Psc	0.066	3.13	LHS 1723	-0.102	2.22
CCDM J01398-5612AB	-0.262	3.30	LHS 1879	-0.111	2.90
del Pav	0.047	5.57	LHS 2272	-0.075	6.56
DX Cnc	-0.057	3.35	LHS 2459	0.045	1.05
EE Leo	-0.018	6.72	LHS 3558	-0.193	5.10
eps Eri	-0.105	2.23	LHS 3595	0.119	6.01
EQ Peg	-0.037	6.15	LHS 6193	-0.171	3.24
eta Cas	-0.045	5.72	LUY 726	-0.029	2.15
EV Lac	-0.004	5.12	PMSC 02307+0626	-0.115	4.22
EZ Aqr	0.031	2.17	PMSC 04107-0748	0.018	4.58
FI Vir	0.071	1.92	PMSC 14328-6025	0.028	0.94
FL Vir	0.016	4.37	Procyon AB	0.024	3.47
Fomalhaut	-0.220	6.93	QY Aur	-0.096	3.93
G 99-49	-0.160	1.32	sig Dra	-0.047	5.08
G 202-48	0.221	4.86	Sirius AB	0.058	2.40
GJ 229 AB	-0.054	5.64	STF 2398 AB	0.000	3.52
GJ 563.2	0.072	2.64	STN 2051	-0.002	5.57
GJ 643/644	-0.067	5.84	TW PsA	-0.019	7.60
GJ 667	0.000	6.84	V577 Mon	-0.106	2.50
GJ 829	-0.006	6.70	V1216 Sgr	0.111	2.73
GJ 1224	0.140	4.49	V1352 Ori	-0.038	3.28
GJ 3622	0.001	4.52	V2306 Oph	0.073	3.78
GJ 3877	-0.007	6.33	V2391 Oph	0.073	3.78

**Tab. 4.2 (Fortsetzung):** Engste Annäherungsdistanzen in pc (D) und -zeitpunkte in Millionen Jahren (T) für alle Systeme der Samples A und B.

System	T	D	System	T	D
GRB 34 AB	-0.016	3.49	Van Maanen's Stern	-0.015	0.90
HD 36395	-0.012	5.61	Vega	0.294	5.19
HD 88230	0.069	3.85	VX Ari	-0.104	4.35
HD 113447	0.138	0.13	YZ Cet	-0.075	2.40
HD 119850	-0.022	5.22	YZ CMi	-0.007	5.96
HD 155876	0.043	5.54	CN Leo	-0.010	2.32
HD 191849	0.125	3.73	DG CVn	-0.368	6.25
HD 209100 Sys	0.018	3.24	GJ 102	0.004	7.75
HD 217987	-0.003	3.26	GJ 674	0.030	4.49
HD 225213	-0.006	4.27	GJ 687	0.077	3.49
HD 239960	0.102	2.45	GJ 2005	0.150	3.86
HH And	0.037	0.95	GJ 2097	0.475	1.92
HIP 67593	-1.149	0.46	GL Vir	-0.023	6.47
HN Lib	0.041	6.01	HD 165222	-0.148	4.54
HR 4375	0.117	6.88	LHS 35	0.008	6.61
HR 8832	0.025	6.31	LHS 451	0.068	2.17
IL Aqr	-0.053	4.45	LHS 3685	-0.126	3.62
IRAS 17122-2632+	0.000	5.94	PMSC 19506+4410	-0.115	4.22
Kapteyn's Stern	-0.011	2.14			

Als zweifelhaft stellt sich das Ergebnis der Sterne GJ 2097 und HD 113447 dar. Während für GJ 2097 leider keine Fehlergrenzen für die Parallaxenmessung vorliegen <sup>[22]</sup> und daher nur eine mittlere Trajektorie unbekannter Genauigkeit ausgewertet werden konnte, die ein für die 8pc-Umgebung ungewöhnlich spätes Rendezvous mit der Sonne hat, halte ich die Parallaxenangabe von 216.62 mas für HD 113447 in der Hipparcos-Version von Van Leeuwen (2007) für äußerst unplausibel. Als Hauptreihenstern mit dem Spektraltyp F3 führen selbst zurückhaltende Schätzungen bezüglich der Leuchtkraft von HD 113447 auf eine Leuchtkraft von  $1.5 L_{\text{Sonne}}$ . Für eine Parallaxe von 216.62 mas wäre dann gemäß Gl. (21) bereits eine scheinbare Helligkeit von  $+0.17^m$  zu erwarten, hinter der die tatsächlich beobachteten  $+8.75^m$  weit zurückbleiben. Vermutlich handelt es sich daher um einen Parallaxenfehler im Hipparcos-Katalog von 2007.

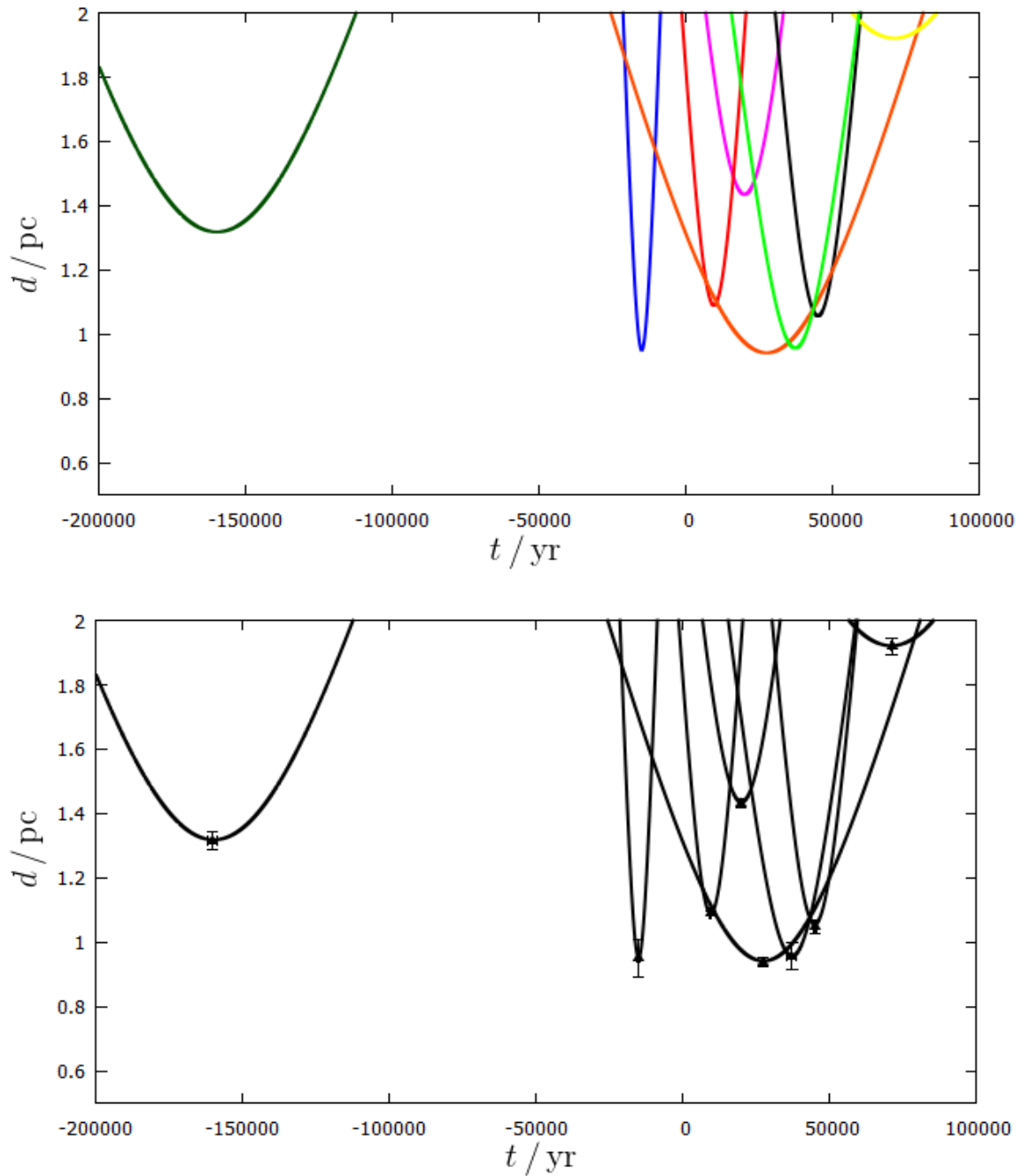
Sollte es sich allerdings nicht um einen Fehler in den kinematischen Daten handeln, so würde HD 113447 Gliese 710 als Stern mit dem signifikantesten zukünftigen extrasolaren Einfluss auf die Oortsche Wolke ablösen, da die gegenwärtig vorliegenden Daten für HD 113447 eine minimale Annäherung von bis auf ein Zehntel Parsec prophezeien, was einem tiefen Eindringen in die Oortsche Wolke entspricht (s. Fig. 20.4).



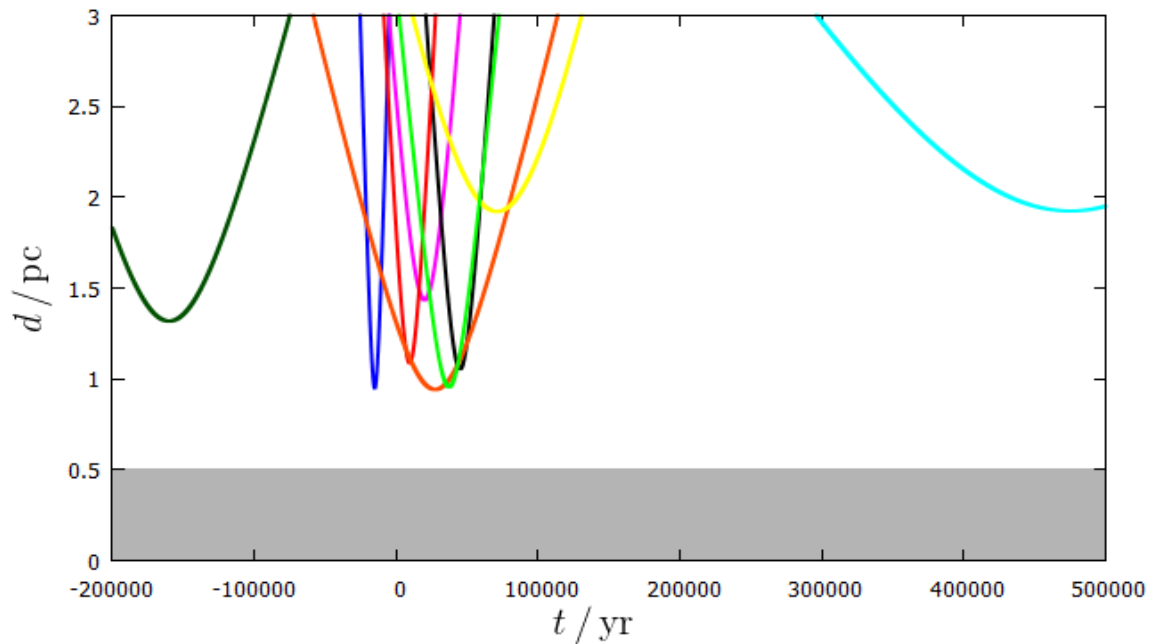
**Fig. 20.1:** Engste Annäherungen von Systemen des 8pc-Samples an die Sonne im Zeitraum von -40000 bis +100000 Jahren. **Oben:** Der Farbschlüssel ist: Blau – Van Maanen's Stern, Rot – Barnard's Stern, Pink – Lalande 21185, Orange – PMSC 14328-6025, Hellgrün – HH And, Schwarz – LHS 2459, Gelb – FI Vir. Für farblinde Leser oder für den Fall einer Umwandlung dieses Diagramms in Graustufen sind die Systeme im Schlüssel in der zeitlich zur Zukunft hin geordneten Reihenfolge ihrer nächsten Annäherung genannt.

**Unten:** Annäherungen der Systeme mit zusätzlich eingetragenen  $1\sigma$ -Grenzen der geringsten Distanzen und deren Zeitpunkte.

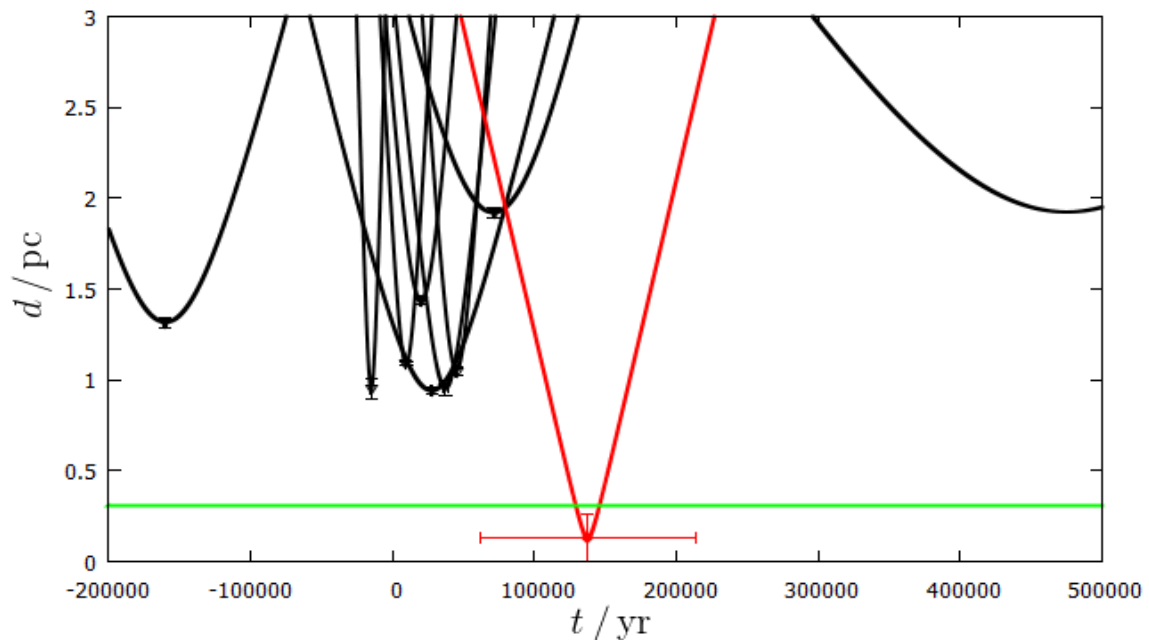
Der untere Rand der Diagramme ( $d = 0.5\text{pc}$ ) fällt mit der durch García-Sánchez et al. (1999) angegebenen Grenze der äußeren Oortschen Wolke zusammen.



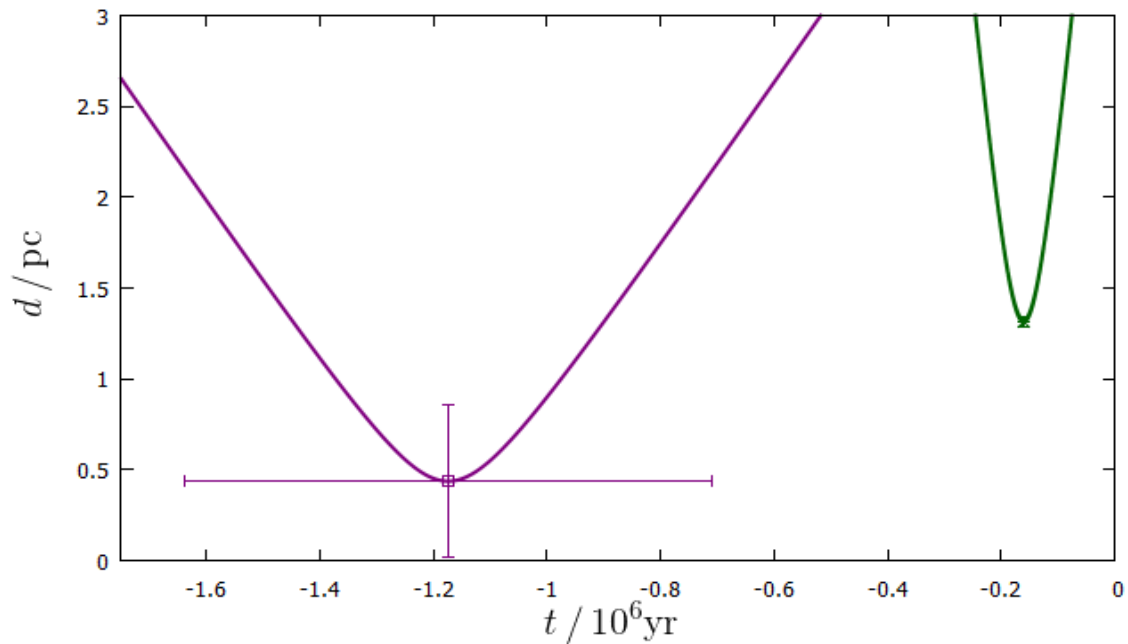
**Fig. 20.2:** Engste Annäherungen von Systemen des 8pc-Samples an die Sonne im Zeitraum zwischen -200000 und +100000 Jahren. Im Vergleich zu Fig. 20.1 ist das System G 99-49 (dunkelgrün) hinzugekommen, das für eine bessere Auflösung der Annäherungen in Fig. 20.1 nicht mit einbezogen wurde. Der untere Rand der Diagramme  $d = 0.5\text{pc}$  fällt mit der durch García-Sánchez et al. (1999) angegebenen Grenze der äußeren Oortschen Wolke zusammen.



**Fig. 20.3:** Die engsten Annäherungen von Systemen des 8pc-Samples an die Sonne im Zeitraum zwischen -0.5 und +0.5 Millionen Jahren. Im Vergleich zu Fig. 20.2 ist das System GJ 2097 (hellblau) hinzugekommen, das für eine bessere Auflösung der Annäherungen in Fig. 20.1 und 20.2 nicht mit einbezogen wurde. Der grau gefärbte untere Bereich des Diagramms markiert die von García-Sánchez et al. (1999) angegebene Grenze der äußeren Oortschen Wolke.



**Fig. 20.4:** Die zehn engsten Annäherungen von Systemen des 8pc-Samples an die Sonne im Zeitraum zwischen -0.5 und +0.5 Millionen Jahren. Im Vergleich zu Fig. 20.1-20.3 ist auch HD 113447 aufgeführt, dessen Abstandsverlauf zur besseren Unterscheidung in rot dargestellt ist. Die hellgrüne Markierung gibt den Erwartungswert der engsten Annäherung von Gliese 710 in +1.4 Millionen Jahren an, die Grenze für die äußere Oortsche Wolke wird gemäß García-Sánchez et al. (1999) bei 0.5 pc angesetzt.



**Fig. 20.5:** Engste Annäherung des Sterns HIP 67593 (links, violett) mitsamt  $1\sigma$ -Grenzen der Minimaldistanz und deren Zeitpunkt. Um eine bessere graphische Auflösung zu erzielen, ist lediglich G 99-49 (rechts, dunkelgrün) noch mit in dem Diagramm geführt. HIP 67593 könnte basierend auf den vorliegenden Daten vor 1.17 Millionen Jahren die äußere Oortsche Wolke gestreift haben.

Anhand von Fig. 20.1 – 20.4 kann das System PMSC 14328-6025 für fast die nächsten 100000 Jahre als sonnennächstes System etabliert werden, wenngleich zeitweise kurzfristig andere Sterne für wenige Tausend Jahre diese Position einnehmen.

S. A. Stern (1989) quantifiziert den Einfluss passierender externer Gravitationsquellen auf die Orbits langperiodischer Objekte des Sonnensystems über

$$\frac{\langle \Delta q \rangle}{q} \approx \frac{6\sqrt{GM}}{v_{\text{rel}} R_{p,\star}^2} a_p^{3/2} \quad (22)$$

wobei der Ausdruck gültig ist für wahlweise  $q$  als Exzentrizität, Inklination oder Große Halbachse.  $v_{\text{rel}}$  bezeichnet die Relativgeschwindigkeit zwischen Sonne und dem Stern der Masse  $M$ , während  $R$ , wie durch die Indizierung in Gl. (22) angedeutet, dem Abstand zwischen Stern und Objekt des Sonnensystems und  $a_p$  der Großen Halbachse des zu störenden Objekts entspricht. Die mittlere Amplitude  $\langle \Delta q \rangle$  einer Störung der Größe  $q$  durch die Annäherung eines Sterns lässt sich so für ein Objekt hinreichend geringer Masse in langperiodischem Umlauf um die Sonne wie einen Kometen oder Zwergplaneten abschätzen.

Da allerdings gemäß eingehenden Simulationen von García-Sánchez et al. (1999) selbst die mögliche Bewegung von Gliese 710 durch die äußeren Regionen der Oortschen Wolke hindurch, wobei ein Anteil der langperiodischen Kometen von  $4.5 \cdot 10^{-7}$  ins Innere des Sonnensystem gestreut werden könnte, mit einer Erhöhung der Meteoritenrate von lediglich ca. einem zusätzlichen Meteoriten pro Jahr keinen merklichen Einfluss auf die inneren Planeten haben wird, kann ein analoger Schluss auch für die Auswahl an Sternen gezogen werden, die ich hier präsentiere. Folglich beschränkt sich der Einfluss von Begegnungen des Sonnensystems mit den Sternen der 8pc-Umgebung auf kumulative Störungen von massearmen Objekten jenseits des Kuiper-Gürtels, die im Kerngebiet des Planetensystems allerdings kaum Auswirkungen zeigten bzw. zeigen werden. Zur Veranschaulichung der Größenordnung dieser Störungen ist in Tabelle 5.2 u.a. das Verhältnis zwischen Exzentrizitätsstörung und Exzentrizität für den Zwergplaneten Sedna dargestellt, das von jedem der zehn die Sonne am nächsten passierenden Sterne hervorgerufen werden könnte.

Es ist ersichtlich, dass von allen Sternen des 8pc-Samples keine drastische Störung der Region des Sonnensystems bis einschließlich Pluto zu erwarten ist. So ergibt sich näherungsweise für Sedna mit einer Großen Halbachse von 518.6 AE eine mögliche Veränderung der Exzentrizität des Sedna-Orbits von  $e = 0.8527$  durch die vergangene Passage von Van Maanen's Stern von  $\Delta e = 0.00006$ , sowie durch die zukünftige Passage von  $\alpha$  Centauri / Proxima Centauri von  $\Delta e = 0.0008$ ; letzteres entspricht rund 13% des zu erwartenden gravitativen Einflusses von Gliese 710 zum Zeitpunkt seiner größten Annäherung ( $\Delta e = 0.006$ ). Mit HIP 67593, der die engste Annäherung des 8pc-Samples vollzieht – sollte sich sein gegenwärtiger Parallaxen-Erwartungswert als korrekt erweisen und HD 113447 tatsächlich eine abweichende Parallaxe besitzen – konnte allerdings erstmals ein Stern identifiziert werden, dessen Einfluss auf die Oortsche Wolke rund halb so groß ist wie jener von Gliese 710.

Während die stellaren Passagen also insbesondere für Objekte des Sonnensystems mit ausgedehnten Orbits durchaus relevant werden können, ist für Objekte mit sonnennäherem Aphel keine bedeutende Störung zu erwarten, da die Potenz ihrer großen Halbachse in die Störampplitude eingeht. Schon für Pluto ist der Einfluss der engsten stellaren Annäherungen aus Tabelle 5.2 um den Faktor 47.6 verringert.



**Tab. 5.1:** Minimalabstände und Zeitpunkt der Passage der Systeme des 8pc-Samples mit den engsten Annäherungen an die Sonne im Zeitraum zwischen -1.5 und +1.5 Millionen Jahren.

System	Minimalabstand in pc	Zeitpunkt der Annäherung in $10^6$ Jahren
HIP 67593	$0.437 \pm 0.423$	$- 1.1740 \pm 0.4637$
Van Maanen's Stern	$0.898 \pm 0.004$	$- 0.0152 \pm 0.0005$
PMSC 14328-6025	$0.938 \pm 0.002$	$0.0276 \pm 0.0002$
HH And	$0.945 \pm 0.005$	$0.0368 \pm 0.0016$
LHS 2459	$1.048 \pm 0.020$	$0.0452 \pm 0.0004$
Barnard's Stern	$1.146 \pm 0.006$	$0.0095 \pm 0.0002$
G 99-49	$1.315 \pm 0.030$	$- 0.1604 \pm 0.0016$
LAL 21185	$1.432 \pm 0.014$	$0.0200 \pm 0.0002$
FI Vir	$1.919 \pm 0.028$	$0.0713 \pm 0.0003$
(HD 113447) <sup>[a]</sup>	$(0.129 \pm 0.133)$	$(0.1375 \pm 0.0760)$
(GJ 2097) <sup>[b]</sup>	$(1.924)$	$(0.4751)$
Gliese 710 <sup>[c]</sup>	$0.311 \pm 0.167$ <sup>[c]</sup>	$1.3826$ <sup>[c]</sup>

[a] Parallaxen-Angabe von Van Leeuwen (2007) unplausibel. Ferner fällt auf, dass obwohl HD 113447 in allen kinematischen Variablen wie der Eigenbewegung und der Parallaxe größere Unsicherheiten aufweist als HIP 67593, besonders der Zeitpunkt der engsten Annäherung für letzteren mit einer größeren Unsicherheit behaftet ist. Dies ist auf die sieben-fach geringere Radialgeschwindigkeit von HIP 67593 zurückzuführen, da sich die Zeitspanne seit der bzw. bis zur Passage zumindest näherungsweise als Quotient aus Momentan-Distanz und Radialgeschwindigkeit approximieren lässt. So übersetzt sich eine geringere Radialgeschwindigkeit in eine größere Zeit-Unsicherheit.

[b] Mitglied des Samples B, daher können leider keine Fehlergrenzen für das Ergebnis angegeben werden.

[c] Werte von Bobylev (2010). Des Weiteren ist Gliese 710 kein Mitglied des 8pc-Samples.

**Tab. 5.2:** Spektraltyp, Massen und gravitativer Einfluss auf Objekte des Sonnensystems von den Systemen des 8pc-Samples mit den engsten Annäherungen an die Sonne im Zeitraum zwischen -1.5 und +1.5 Millionen Jahren. Die Stör-Amplitude hängt von der Großen Halbachse  $a$  des betroffenen Objekts des Sonnensystems ab.

System	Spektraltyp	Masse / Sonnenmasse	$\langle \Delta q \rangle / qa^{3/2}$	$\langle \Delta e \rangle / e$ für Sedna
HIP 67593	(G 6)	(0.9)	$4.7 \cdot 10^{-24}$	$3.2 \cdot 10^{-3}$
Van Maanen's Stern	DZ 8	$0.68$ <sup>[d]</sup>	$9.5 \cdot 10^{-26}$	$6.7 \cdot 10^{-5}$
PMSC 14328-6025	G1/K1/M6	$2.12$ <sup>[e,f]</sup>	$1.4 \cdot 10^{-24}$	$9.5 \cdot 10^{-4}$
HH And	M 6.0	$0.07$ <sup>[g]</sup>	$9.3 \cdot 10^{-26}$	$6.2 \cdot 10^{-5}$
LHS 2459	M 4.0	$0.15$ <sup>[25]</sup>	$7.5 \cdot 10^{-26}$	$5.1 \cdot 10^{-5}$
Barnard's Stern	M 4.0	$0.144$ <sup>[25]</sup>	$5.3 \cdot 10^{-26}$	$3.8 \cdot 10^{-5}$
G 99-49	M 4	$0.19$ <sup>[25]</sup>	$3.8 \cdot 10^{-25}$	$2.6 \cdot 10^{-4}$
LAL 21185	M 2.0	$0.46$ <sup>[h]</sup>	$8.1 \cdot 10^{-26}$	$5.7 \cdot 10^{-5}$
FI Vir	M 4.5	$0.15$ <sup>[i]</sup>	$5.9 \cdot 10^{-26}$	$3.8 \cdot 10^{-5}$
(HD 113447)	(F 3)	$1.5$ <sup>[k]</sup>	$5.9 \cdot 10^{-23}$	$40 \cdot 10^{-3}$
(GJ 2097)	(M 1.5)	$0.43$ <sup>[k]</sup>	$2.9 \cdot 10^{-25}$	$2.0 \cdot 10^{-4}$
Gliese 710	K 7	$0.60$ <sup>[26]</sup>	$1.0 \cdot 10^{-23}$	$6.9 \cdot 10^{-3}$

Für die Berechnung der Orbitalstörung von Sedna in Tabelle 3.2 wurde eine Geschwindigkeit der Sonne von  $v_{\text{Sonne}} = (10.0 \pm 0.4, 5.2 \pm 0.6, 7.2 \pm 0.4)$  km/s +  $v_{\text{LSR}}$  verwendet<sup>[23]</sup> mit der in Abschnitt 4 berechneten mittleren Geschwindigkeit der stellaren Nachbarschaft als LSR. Die Orbitaldaten von Sedna wurden aus [24] bezogen. Als Quellen für die Stellarmassen wurden verwendet:

[d] Giammichele N., Bergeron P., Dufuor P., 2012, *Astrophys. J., Suppl. Ser.*, 199, 29

[e] Ségransan D. et al., 2003, *Astron. Astrophys.*, 397, L5-L8

[f] Kervella P., Thevenin F., 2003, "A Family Portrait of the Alpha Centauri System", ESO, archiviert 2008

[g] Pinfield A., 2009, *Astrophys. J.*, 704, 975-988

[h] "The 100 nearest star systems", 2009, Research Consortium on Nearby Stars.

[i] Rodonò M., 1986, "The Atmospheres of M Dwarfs: Observations", Washington: NASA, p. 409-453

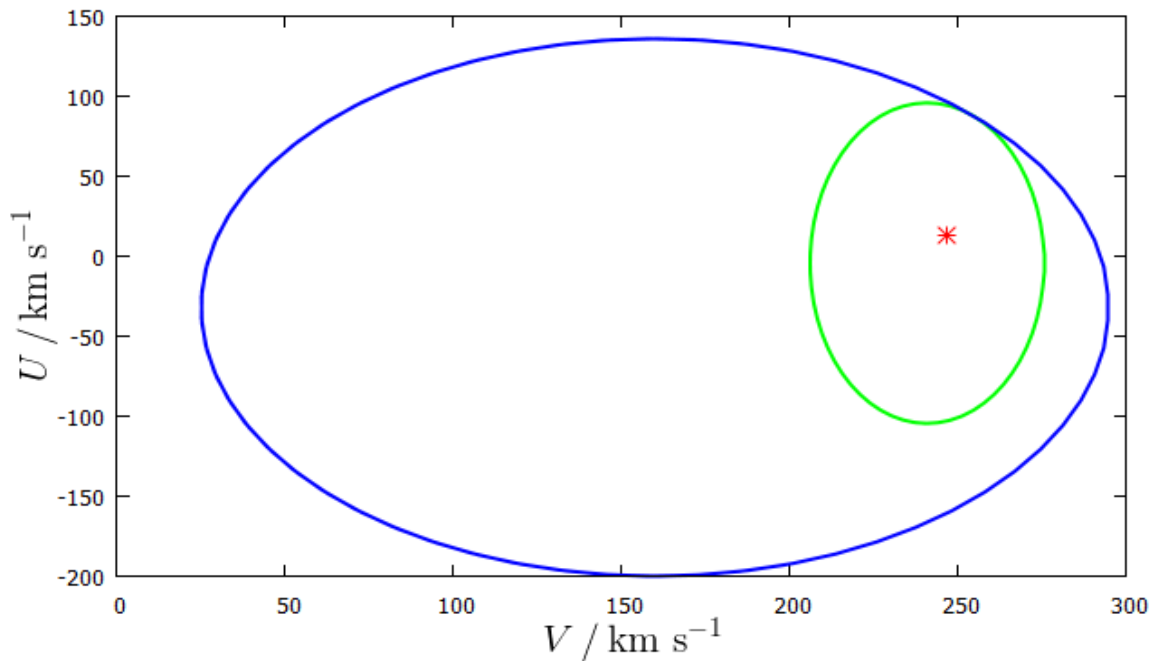
[k] Masse unter Verwendung von Gleichung (18) abgeschätzt.

## 5.4 Gravitativer Einfluss durch Luhman 16

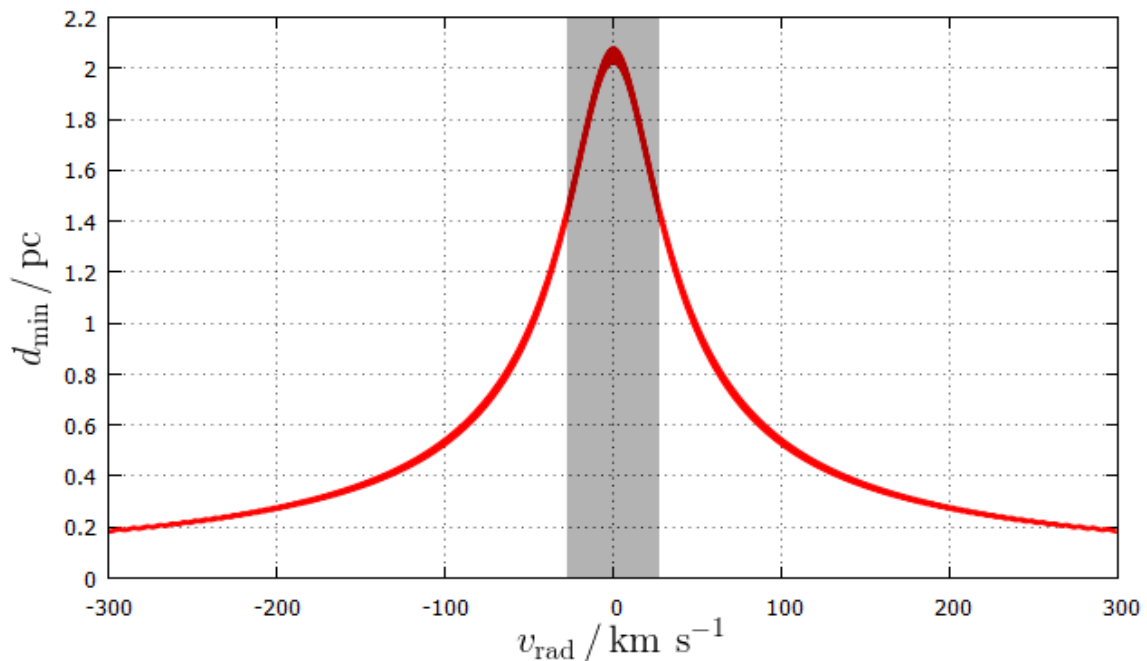
Als Folge der erst jüngst erfolgten Entdeckung des sehr nahen ( $\sim 2$  pc) Binärsystems Luhman 16 aus zwei Roten Zwergsternen liegen bisher noch kaum eingehende kinematische Untersuchungen des Systems vor. Daher möchte ich die Gelegenheit dieser Arbeit nutzen, um erstmalig eine kinematische Analyse des Systems in Hinblick auf mögliche vergangene oder zukünftige Begegnungen durchzuführen, die zu einer signifikanten Störung der Oortschen Wolke oder äußerer Zwergplaneten des Sonnensystems führen könnten. Da gegenwärtig leider noch keine Daten zur Radialgeschwindigkeit des Systems aus Roten Zwergen vorliegen, können minimale Distanz zur Sonne und Zeitpunkt der maximalen Annäherung ausschließlich als Funktion der unbekanntes Radialgeschwindigkeit dargestellt werden (s. Fig. 22.1).

Setzt man die Radialgeschwindigkeit  $v_{\text{rad}}$  von Luhman 16 gleich Null, so folgt für das Binärsystem mit  $U = 12.8 \pm 0.3$  km/s und  $V = 246.9 \pm 0.1$  km/s eine Einteilung in die Dünne Scheibe (s. Fig. 21). Wie von Pauli (2004) gezeigt wurde, kann die Radialgeschwindigkeit eines Systems bei Untersuchungen zur Populationszugehörigkeit vernachlässigt werden: Handelt es sich bei einem System um ein Mitglied der Dünne Scheibe, der Dicken Scheibe bzw. des Halos, so wird das Klassifikationsschema dieses System im Allgemeinen auch als solches einstufen falls die Radialgeschwindigkeit auf Null gesetzt wird. Es lässt sich also folgern, dass es sich bei Luhman 16 wahrscheinlich tatsächlich um einen Stern der Dünne Scheiben-Population handelt. Dieses Ergebnis deckt sich mit der Einteilung durch Mamajek (2013), der die Wahrscheinlichkeit der Zugehörigkeit des Systems Luhman 16 zur Dünne Scheibe mit 96% benennt. Damit lässt sich auch der Wertebereich der Radialgeschwindigkeit berechnen, für den Luhman 16 im U-V-Diagramm noch als System der Dünne Scheibe klassifiziert würde – er liegt näherungsweise zwischen -30 und +30 km/s. Dieser Bereich ist in Fig. 22.1 grau markiert; es ist folglich im Rahmen meiner Abschätzung keine Annäherung auf weniger als 1.4 pc zu erwarten. Bei diesen Abständen kann selbst unter der Einschränkung fehlender Radialgeschwindigkeitsdaten für Luhman 16 eine Beeinflussung des Sonnensystems im Zeitraum der letzten bzw. nächsten Millionen Jahre vernachlässigt werden.

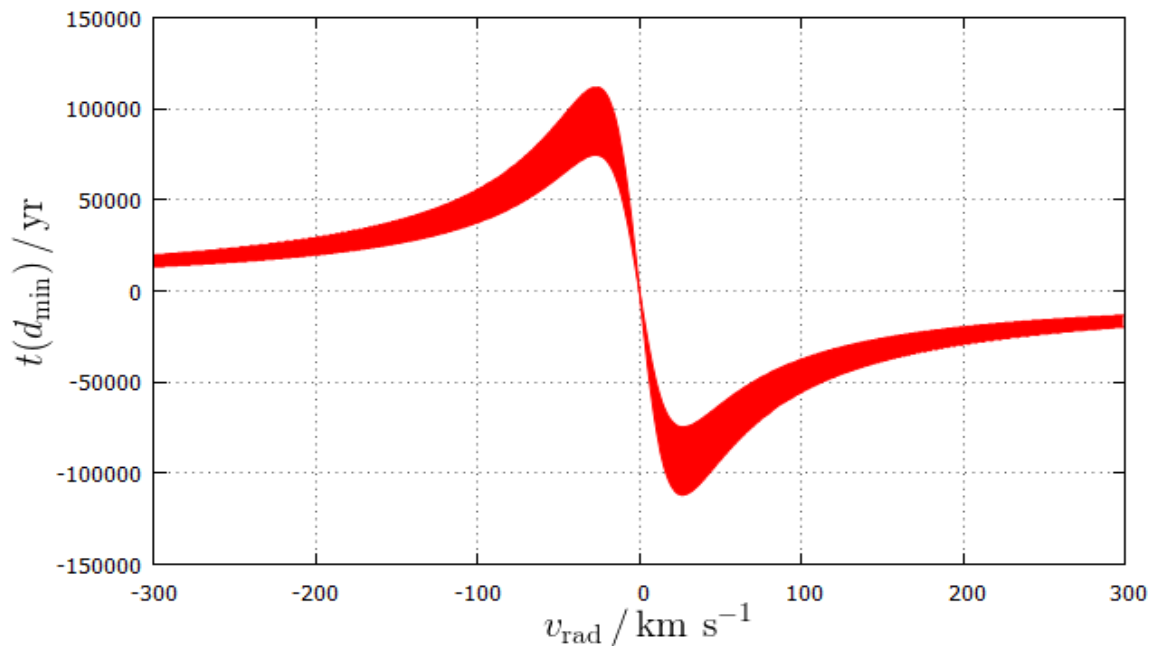
Erwähnenswert ist abschließend, dass unabhängig von der Radialgeschwindigkeit die engste Annäherung von Luhman 16 entweder schon erfolgte oder nicht später als in 120000 Jahren eintreten wird (s. Fig. 22.2).



**Fig. 21:** Kinematische Einteilung von Luhman 16 (rot) mittels U-V-Diagramm. Als Ellipsen dargestellt sind die Inklusionskriterien des verwendeten Klassifikationsverfahrens für die Dünne Scheibe (grün) und die Dicke Scheibe (blau).



**Fig. 22.1:** Minimaldistanz zwischen Sonne und Luhman 16 in Abhängigkeit von der Radialgeschwindigkeit von Luhman 16. Die Kurve überspannt flächig den 3-Sigma-Bereich basierend auf den Unsicherheiten von Parallaxe und Eigenbewegung. Der grau markierte Bereich entspricht der erwarteten Radialgeschwindigkeit von  $-30$  bis  $+30$  km/s, für die das Binärsystem nach dem verwendeten Klassifikationsschema nach Pauli (2004) als der Dünne Scheibe zugehörig eingeteilt würde.



**Fig. 22.2:** Zeitpunkt des Minimalabstands von Luhman 16 zur Sonne. Die Kurve überspannt flächig den 3-Sigma-Bereich basierend auf den Unsicherheiten von Parallaxe und Eigenbewegung.

## 6. Echtzeitkarte der 8pc-Sonnenumgebung

TV-Serien wie *Stargate Universe* oder *Farscape* vermitteln den Eindruck, dass mit der Erschließung des Alls in einer Zukunft, in der interstellare Reisen möglich sind, auch immer eine drohende Gefahr verbunden ist. Und das sind nicht etwa feindliche Außerirdische<sup>5</sup>, sondern die Möglichkeit, in den Weiten des Weltalls vom Kurs abzukommen und sich so inmitten zahlloser Sternsysteme zu verirren.

Während hinreichend leistungsfähige und exotische interstellare Antriebe ein Schiff womöglich aus der 8pc-Sonnenumgebung herauskatapultieren könnten, weit genug, dass sämtliche sonnennahen Sterne kaum mehr beobachtbar sind, erscheint die Situation für unglückliche Reisende, die nur in der näheren solaren Nachbarschaft vom Kurs abkamen, nicht ganz so hoffnungslos. Mit einer Sternkarte der 8pc-Sonnenumgebung und einem einfachen Bordcomputer (oder ein bisschen Zeit) sollte der Rückweg zur Sonne leicht zu finden sein. Die einzige mögliche Einschränkung ergibt sich, falls die Anordnung der lokalen Sterne durch die Laufzeit des Lichts an verschiedenen Orten der 8pc-Umgebung im Vergleich zu den üblicherweise publizierten Sternkarten vollkommen verzerrt ist, denn Sternkarten, welche berücksichtigen, dass die Sterne ja nicht mehr dort liegen, wo wir sie gerade sehen, sind selten oder bisher nicht existent.

In diesem Sinn war es mir ein großes Anliegen, im Rahmen meiner Bachelorarbeit eine Sternkarte zu

<sup>5</sup> OK, die vielleicht auch.

erstellen, welche die Positionen der Sterne in Echtzeit angibt, d.h. die Systeme der 8pc-Sonnumgebung dort verzeichnet, wo man sie sehen würde, wäre die Lichtgeschwindigkeit unbegrenzt groß.

Es stellt sich allerdings heraus, dass selbst für die schnellsten bzw. entferntesten Sterne meines Samples die Abweichung von konventionellen Sternkarten nur in Größenordnungen von Tausenden Astronomischen Einheiten liegt, sodass sich in einer graphischen Darstellung auf realistisch großer Abbildungsfläche kein Unterschied ergibt. Dennoch sind die Erwartungswerte der momentanen tatsächlichen Positionen der 109 Sterne der Samples A und B in Appendix C aufgeführt; da für Sample C die kinematischen Daten unvollständig sind, kann auch keine Aussage über ihre momentane Position getroffen werden. Die kartesischen Koordinaten wurden aus Trajektorienimulationen ermittelt, in denen die Laufzeit der Simulation mit dem Quotienten aus Distanz (d.h. dem Kehrwert der Parallaxe) und Lichtgeschwindigkeit gleichgesetzt wurde. Mögen die berechneten Daten im interstellaren Raum treibenden Personen mit Zugriff auf diese Arbeit von Nutzen sein!

## 7. Zusammenfassung

Abschließend seien noch einmal die wichtigsten Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zusammengefasst.

Durch Verwendung eines Orbit-Simulationsprogramms und der stellaren Daten aus zahlreichen verschiedenen Katalogen gelang es mir, die Geschwindigkeitsverteilung der Sterne in der 8pc-Sonnumgebung zu  $(U, V, W) = (-4.3 \pm 33.4 \text{ km/s}, 240.9 \pm 11.6 \text{ km/s}, -5.5 \pm 10.9 \text{ km/s})$  zu bestimmen. Eine kinematische Untersuchung erlaubte die Klassifikation von Kapteyn's Stern und Van Maanen's Stern als Sterne des Halos, während die Halo-Kandidaten Barnard's Stern und LHS 38 sowie WX Uma der Dicken Scheibe zugeordnet werden konnten. Durch die Erstellung einer Tabelle mit den Erwartungswerten von Zeitpunkten und Minimaldistanzen der engsten Annäherung an die Sonne für alle Sterne des 8pc-Samples, für die dies möglich war, und Simulationen aller Trajektorien für die letzten und nächsten 4 Milliarden Jahre konnte gezeigt werden, dass die Sterne der 8pc-Umgebung in kosmologischen Dimensionen gemessen nur sehr kurz in der Nachbarschaft der Sonne verweilen und dass in dem Intervall zwischen -1.5 und +1.5 Millionen Jahren alle bekannten Sterne innerhalb eines Umkreises von 8pc ihren minimalen Abstand erreicht haben bzw. erreicht haben werden. Daraus konnte der Schluss gezogen werden, dass die Gruppe der sonnennächsten Sterne schon in wenigen Millionen Jahren aus Mitgliedern bestehen wird, die heute noch nicht einmal im 8pc-Umfeld liegen.

Ferner wurde mit der den Beobachtungen widersprechenden Parallaxe von HD 113447 ein vermeintlicher Fehler im Hipparcos-Katalog von Van Leeuwen (2007) entdeckt. Auch das vermutete binäre System Her 5 erfordert weitere Untersuchungen zur Klärung seiner Bindungsverhältnisse. Des Weiteren wird eine physikalische Bindung zwischen TYC 1723-143-1 und GSC 01723-00061 vermutet.

Es wurden alle Sterne des 8pc-Samples bestimmt, die sich im Zeitraum von -1.5 bis +1.5 Millionen Jahren der Sonne auf unter 2pc annähern und für diese der gravitative Stör-Einfluss auf Objekte der Oortschen Wolke quantifiziert. Tatsächlich konnte kein Stern gefunden werden, von dem eine stärkere Störung zu erwarten wäre als von Gliese 710, was sich mit den Resultaten von García-Sánchez et al. (1999 und 2001) deckt. Dennoch konnte mit HIP 67593 möglicherweise ein Stern identifiziert werden, der vor 1.2 Millionen Jahren die Oortsche Wolke gestreift haben könnte.

Aus kinematischen Erwägungen folgte für das System Luhman 16 die wahrscheinliche Zugehörigkeit zur Dünnen Scheibe. Ein zu erwartender Wertebereich der Radialgeschwindigkeit des Systems von -30 bis +30 km/s konnte daraus abgeleitet werden; zusätzlich ergab sich ein Zeitfenster von -0.12 bis +0.12 Millionen Jahren unabhängig von der Radialgeschwindigkeit, innerhalb dem die engste Annäherung von Luhman 16 an die Sonne stattgefunden haben muss.

Schließlich wurden die Erwartungswerte der Echtzeitpositionen für 109 Sterne innerhalb der 8pc-Umgebung in kartesischen Koordinaten berechnet und aufgelistet, die angeben, wo man die Sterne sehen würde, wäre die Lichtgeschwindigkeit unbegrenzt.

Es sei noch angemerkt, dass für 53 bekannte Systeme der 8pc-Umgebung (die 52 Systeme des Samples C und Luhman 16) keinerlei Daten bezüglich ihrer Radialgeschwindigkeit vorlagen. Da es sich hierbei fast um ein Drittel der Systeme des 8pc-Gesamtsamples handelt, könnten selbst wenige neue Messungen der noch unbekanntem Radialgeschwindigkeiten Sterne mit einer noch bedeutenderen Annäherung als Gliese 710 in unserem direkten Umfeld enthüllen, die in der näheren Zukunft oder Vergangenheit dem Sonnensystem sehr nahe kommen bzw. kamen. Zudem ist das untersuchte Sample bezüglich der 8pc-Umgebung bei weitem nicht als vollständig zu betrachten. Eine Abschätzung der Anzahl der Gesamtsterne im Umkreis von 8pc auf Basis der Anzahl der Sterne in der 5pc-Sonnenumgebung<sup>6</sup> ergibt, dass man aus einer Extrapolation der 5pc-Sterndichte über 100 weitere, noch unentdeckte leuchtschwache Zwergsterne in der 8pc-Nachbarschaft der Sonne erwartet. Dementsprechend könnten neu entdeckte Systeme wie im Fall von Luhman 16 (WISE J104915.57-531906.1) die Situation schnell ändern.

Das letzte Wort ist also noch nicht gesprochen.

---

<sup>6</sup> Eine auf Basis aktueller Daten durchgeführte Berechnung unter Vorbild von <http://www.stsci.edu/~inr/8pc.html> ergibt eine Dichte von 0.155 Sternen / pc<sup>3</sup> für die sphärische 5pc-Sonnenumgebung.

## 8. Danksagung

Ich möchte mich bei Prof. Dr. Ulrich Heber bedanken, besonders für seine zahlreichen wertvollen Tipps, Vorschläge und die Unterstützung, die ein Gelingen dieser Arbeit überhaupt ermöglichten, und nicht zuletzt auch dafür, dass ich ein selbst vorgeschlagenes Thema mit einigen sinnvollen Ergänzungen umsetzen durfte. Des Weiteren danke ich Dipl.-Phys. Andreas Irrgang für die viele investierte Zeit und seine Hilfsbereitschaft mich in die Benutzung von S-Lang/ISIS und dem Orbitcalculator einzuführen. Er half mir in Programmfragen immer mehr weiter, als ich hätte erwarten dürfen. Schließlich möchte ich mich auch bei Dipl.-Phys. Eva Ziegerer bedanken, die mir im Bereich der Diagramm-Erstellung wertvolle Ressourcen zur Verfügung stellte.

## 9. Literatur

### 9.1 Datenquellen

#### 9.1.1 Positionen

- Beichman C. A., Neugebauer G., Habing H. J., et al., 1988, NASA Ref. Publ. 1190, 1
- Cutri R.M., Skrutskie M.F., Van Dyk S., et al., 2003, CDS/ADC Collection of Electronic Catalogues 2246, 0
- Fabricius C., Hog E., Makarov V.V., 2002, Astron. Astrophys. 384, 180-189
- Hog E., Fabricius C., Makarov V.V., et al., 2000, Astron. Astrophys. 355, L27-30
- Roeser S., Bastian U., 1988, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 74, 449
- Soulie G., 1983, Astron. Astrophys., Suppl. Ser., 54, 281-291
- Van Leeuwen F., 2007, Astron. Astrophys. 474, 653-664
- Zacharias N., Finch C., Girard T., et al., 2009, CDS/ADC Collection of Electronic Catalogues 1315, 0
- Zacharias N., Urban S.E., Zacharias M. I., et al., 2003, CDS/ADC Collection of Electronic Catalogues 1289, 0
- 2012, CDS/ADC Collection of Electronic Catalogues 1322, 0

### 9.1.2 Eigenbewegungen

- Adelman-McCarthy J. K., et al., 2009, CDS/ADC Collection of Electronic Catalogues, 2294, 0
- Bakos G. A., Sahu K. C. Nemeth P., 2002, *Astrophys. J., Suppl. Ser.*, 141, 187-193
- Caballero J. A., 2007, *Astrophys. J.*, 667, 520-526
- Casewell S. L., Jameson R. F., Burleigh M. R., 2008, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 390, 1517-1526
- Deacon N. R., Hambly N. C., Cooke J. A., 2005, *Astron. Astrophys.*, 435, 363-372
- Gatewood G., 2008, *Astron. J.*, 136, 452-460
- Lepine S., Shara M. M., 2005, *Astron. J.*, 129, 1483-1522
- Mason B. D., Wycoff G. L., Hartkopf W. I., et al., 2001, *Astron. J.*, 122, 3466-3471
- Salim S., Gould A., 2003, *Astrophys. J.* 582, 1011-1031
- Schmidt S. J., Cruz K. L. Bongiorno B. J., et al., 2007, *Astron. J.*, 133, 2258-2273
- Subasavage J. P., Jao W.-C., Henry T. J., et al., 2009, *Astron. J.*, 137, 4547-4560
- Van Leeuwen F., 2007, *Astron. Astrophys.*, 474, 653-664

### 9.1.3 Radialgeschwindigkeiten

- Bonfils X., Mayor M., Delfosse X., et al., 2007, *Astron. Astrophys.*, 474, 293-299
- Chubak C., Marcy G., 2011, *Am. Astron. Soc. Meeting 217*, 434.12, *Bulletin of the Am. Astron. Soc.*, 43
- Dawson P. C., De Robertis M. M., 2005, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 159, 141-166
- Deshpande R., Martin E. L., Montgomery M. M., et al., 2012, *Astron. J.*, 144, 99
- Evans D. S., 1979, *IAU Symp.*, 30, held in Toronto, Canada, 30, 57-62
- García-Sánchez J., Weissman P. R., Preston R. A., et al., 2001, *Astron. Astrophys.* 379, 634-659
- Gizis J. E., Reid I. N., Hawley S. L., 2002, *Astron. J.*, 123, 3356-3369
- Gontcharov G. A., 2006, *Astron. Lett.*, 32, 759-771
- Hawley S. L., Gizis J. E., Reid I. N., 1996, *Astron. J.*, 112, 2799-2827
- Karatas Y., Bilir S., Eker Z. Demircan O., 2004, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 349, 1069-1092
- Kharchenko N. V., Scholz R.-D., Piskunov A. E., 2007, *Astron. Nachr.*, 328, 889-896
- Morin J., Donati J.-F., Petit P., 2008, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 390, 567-581
- Morin J., Donati J.-F., Petit P., et al., 2010, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 407, 2269-2286
- Nidever D. L., Marcy G. W., Butler R. P., et al., 2002, *Astrophys. J., Suppl. Ser.*, 141, 503-522
- Pourbaix D., Tokovinin A. A., Batten A. H., et al., 2004, *Astron. Astrophys.* 424, 727-732
- Reiners A., Basri G., 2009, *Astrophys. J.*, 705, 1416-1424
- Rodgers A. W., Eggen O., 1974, *Publ. Astron. Soc. Pac.*, 86, 742-766
- Valenti J. A., Fischer D. A., 2005, *Astrophys. J., Suppl. Ser.*, 159, 141-166
- Yoss K. M., Griffin R. F., 1997, *J. Astrophys. Astron.*, 18, 161-227



### 9.1.4 Parallaxen

- Costa E., Mendez R. A., Jao W.-C., et al., 2005, *Astron. J.*, 130, 337-349
- Costa E., Mendez R. A., Jao W.-C., et al., 2006, *Astron. J.*, 132, 1234-1247
- Dahn C. C., Harris H. C., Vrba F. J., et al., 2002, *Astron. J.*, 124, 1170-1189
- Gatewood G., 2008, *Astron. J.*, 136, 452-460
- Gliese W., Jahreiss H., 1991, *Nearby Stars, Preliminary 3rd Version*, 0
- Harrington R. S., Dahn C. C., 1980, *Astron. J.*, 85, 454-465
- Henry T. J., Jao W.-C., Subasavage J. P., et al., 2006, *Astron. J.*, 132, 2360-2371
- Holberg J. B., Oswalt T. D., Sion E. M., 2002, *Astrophys. J.*, 571, 512-518
- Jao W.-C., Henry T.J., Subasavage J.P., et al., 2014, *Astron. J.*, 147, 21
- Jenkins J. S., Ramsey L. W., Jones H. R. A., et al., 2009, *Astrophys. J.*, 704, 975-988
- Jenkins L. F., 1952, *General Cat. Trigo. Parallaxes*, 0
- Jenkins L. F., 1963, *General Cat. Trigo. Parallaxes*, 0
- Khrutskaya E. V., Izmailov I. S., Khovrichev M. Yu., 2010, *Astron. Lett.*, 36, 576-583
- Kirkpatrick J. D., Cushing M. C., Gelino C. R., et al., 2011, *Astrophys. J., Suppl. Ser.*, 197, 19
- Leggett S. K., Morley C. V., Marley M. S., et al., 2013, *Astrophys. J.*, 763, 130
- Oppenheimer B. R., Golimowski D. A., Kulkarni S. R., et al. 2001, *Astron. J.*, 121, 2189-2211
- Perryman M. A. C., Lindegren L., Kovelevsky J., et al. 1997, *Astron. Astrophys.*, 323, L49-52
- Reid I. N., Cruz K. L., 2002, *Astron. J.*, 123, 2806-2821
- Tinney C. G., 1996, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 281, 644-658
- Van Leeuwen F., 2007, *Astron. Astrophys.*, 474, 653-664

### 9.1.5 Spektraltypen

- Burgasser A. J., Kirkpatrick J. D., Lowrance P. J., 2005, *Astron. J.*, 129, 2849-2855
- Burgasser A. J., McElwain M. W., Kirkpatrick J. D., et al., 2004, *Astron. J.*, 127, 2856-2870
- Cushing M. C., Roellig T. L., Marley M. S., et al., 2006, *Astrophys. J.*, 648, 614-628
- Eggl S., Pilat-Lohinger E., Funk B., et al., 2013, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 428, 3104-3113
- Faherty J. K., Burgasser A. J., Cruz K. L., et al., 2009, *Astron. J.*, 137, 1-18
- Geballe T. R., Knapp G. R., Leggett S. K., et al., 2002, *Astrophys. J.*, 564, 466-481
- Gianninas A., Bergeron P., Ruiz M. T., 2011, *Astrophys. J.*, 743, 138
- Gizis J. E., 1997, *Astron. J.*, 113, 806-822
- Gray R. O., Corbally C. J., Garrison R. F., et al., 2003, *Astron. J.*, 126, 2048-2059
- Gray R. O., Corbally C. J., Garrison R. F., et al., 2006, *Astron. J.*, 132, 161-170

- Henry T. J., Walkowicz L. M., Barto T. C., 2002, *Astron. J.*, 123, 2002-2009
- Holberg J. B., Oswalt T. D., Barstow M. A., 2012, *Astron. J.*, 143, 68
- Joy A. H., Abt H. A., 1974, *Astrophys. J., Supply. Ser.*, 28, 1-18
- Knapp G. R., Leggett S. K., Fan X., et al., 2004, *Astron. J.*, 127, 3553-3578
- Koen C., Kilkenny D., Van Wyk F., Marang F., 2010, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 403, 1949-1968
- Law N. M., Hodgkin S. T., MacKay C. D., 2008, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 384, 150-160
- Lucas P. W., Tinney C. G., Burningham B., et al., 2010, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 408, L56-L60
- Marsh K. A., Wright E. L., Kirkpatrick J. D., et al., 2013, *Astrophys. J.*, 762, 119
- Montes D., Lopez-Santiago J., Galvez M. C., et al., 2001, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 328, 45-63
- Pasquini L., Liu Q., Pallavicini R., 1994, *Astron. Astrophys.*, 287, 191-205
- Provencal J. L., Shipman H. L., Koester D., et al., 2002, *Astrophys. J.*, 568, 324-334
- Reid I. N., Cruz K. L., Allen P., et al., 2004, *Astron. J.*, 128, 463-483
- Reid N. I., Cruz K. L., Kirkpatrick J. D., et al., 2008, *Astron. J.*, 136, 1290-1311
- Riaz B., Gizis J. E., Harvin J., 2006, *Astron. J.*, 132, 866-872
- Ruck M. J., Smith G., 1995, *Astron. Astrophys.*, 304, 449-460
- Scholz R.-D., Bihain G., Schnurr O., Storm J., 2012, *Astron. Astrophys.*, 514A, 163
- Sion E. M., Holberg J. B., Oswalt T. D., 2009, *Astron. J.*, 138, 1681-1689
- Skiff B. A., 2013, *CDS/ADC Collection of Electronic Catalogues*, 1, 2023
- Torres C. A. O., Quast G. R., Da Silva L., et al., 2006, *Astron. Astrophys.*, 460, 695-708
- Van Altena W. F., Lee J. T., Hoffleit E. D., 1995, *General Cat. Trigo Parallaxes*, 0
- Van Belle G. T., Von Braun K., 2009, *Astrophys. J.*, 694, 1085-1098
- White R. J., Gabor J. M., Hillenbrand L. A., 2007, *Astron. J.*, 133, 2524-2536
- Zakhzhaj V. A., 1979, *Vestnik Khar'kovskogo Universiteta*, 190, 52-77

## 9.2 Referenzen

- Aannestad P. A., Kenyon S. J., Hammon G. L., Sion E. M., 1993, *Astron. J.*, 105, 1033
- Baraffe I., Chabrier G., 1996, *Astrophys. J.*, 461, L51-L54
- <sup>[7]</sup> Bilir S., Cabrera-Lavers A., Karaali S., et al., 2008, *Publ. Astron. Soc. Australia*, Vol. 25, 2, p. 69-84
- <sup>[25]</sup> Bobylev V. V., 2010, *Astron. Lett.*, Vol. 36, No. 3
- <sup>[5]</sup> Bovi J., Rix H.-W., Hogg D. W., 2011, *Astrophys. J.*, 751, 131
- <sup>[19]</sup> Burleigh M. R., Clarke F. J., Hogan E., et al., 2008, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 386, 1, L5-L9
- Cox A. N., 1999, *Allen's Astrophysical Quantities*, ISBN 0-387-98746-0, p. 389
- <sup>[12]</sup> Crawford, 2009, *J. of the Brit. Interplan. Soc.*, 62, 415-421
- Delfosse X., Forveille T., Perrier C., Mayor M., 1998, *Astron. Astrophys.*, 331, 581

- Eggl S., Pilat-Lohinger E., Funk B., et al., 2012, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 428, 4
- <sup>[20]</sup> European Space Agency, 1997, SP-1200, 0
- <sup>[16]</sup> Fabricius C., Makarov V. V., 2000, *Astron. Astrophys., Suppl. Ser.*, 144, 45-51
- Farihi J., Barstow M. A., Redfield S., Dulfour P., 2010, *MNRAS* 404 2123-2135
- Fink M., 2013, Bachelorarbeit, FAU Erlangen-Nürnberg
- García-Sánchez J., Weissman P. R., Preston R. A., et al., 2001, *Astron. Astrophys.*, 379, 634-659
- <sup>[26]</sup> García-Sánchez J., Preston R. A., Jones D. L., Weissman P. R., 1999, *Astron. J.*, 117, 1042-1055
- <sup>[11]</sup> Ghez A. M., Salim S., Weinberg N. N., et al., 2008, *Astrophys. J.*, 689, 1044-1062
- <sup>[3]</sup> Gizis J. E., 1996, *Astron. J.*, 113, 806-822
- Greenstein J. L., Trimble V. L., 1967, *Astrophys. J.*, 149, 283-298
- Henri M. J., Pourbaix D., Muzic K., et al., 2014, *Astron. Astrophys.*, 561, L4
- Irrgang A., Wilcox B., Tucker E., Schiefelbein L., 2013, arXiv:1211.4353v3
- Johnson D. R. H., Soderblom D. R., 1986, *Astron. J.*, 93, 864-867
- Kalirai J., 2012, *Nature*, 2012, 486, 90
- Kotoneva E., Innanen K., Dawson P. C., et al., 2005, *Astron. Astrophys.* 438, 3, pp. 957-962
- Krueger H., Gruen E., 2008, *Space Sci.Rev.*143, 347-356
- <sup>[1]</sup> Luhman K. L., 2013, arXiv:1303.2401
- Mamajek E. E., 2013, arXiv:1303:5345
- Mason B. D., Hartkopf W. I., Friedman E. A., 2012, *Astron. J.*, 143, 124
- <sup>[10]</sup> Meyer D. M., Lauroesch J. T., Heiles C., et al., 2006, *Astrophys. J.*, 650, L67-L70 {9}
- <sup>[18]</sup> Nordstrom B., 1989, *Astrophys. J.*, 341, 934-938
- <sup>[22]</sup> Oppenheimer B. R., Golimowski D. A., Kulkarni S. R., et al., 2001, *Astron. J.*, 121, 2189
- <sup>[6]</sup> Pauli E.-M., 2004, Dissertation, FAU Erlangen-Nürnberg
- Phelps S., Nusser N., Desjacques V., 2013, *Astrophys. J.*, 775, 102-113
- Redfield S., 2009, *Space Sci.Rev.*143, 323-331
- Schoenrich R., Binney J., 2009, arXiv:0809.3006v2
- <sup>[4]</sup> Shen J., Rich R. M., Kormendy J., et al., 2010, *Astrophys. J.*, 720, L72
- <sup>[9]</sup> Snowden S. L., Egger R., Finkbeiner D. P., et al., 1998, *Astrophys. J.*, 493, 715
- <sup>[14]</sup> Spitzer L. Jr., 1941, *Astrophys. J.*, 93, 369-379
- <sup>[15]</sup> Spitzer L. Jr., Schwarzschild M., 1953, *Astrophys. J.*, 188, 106
- Stern S. A., 1990, *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy (ISSN 0923-2958)*, 47, 3, p. 267-273
- Wilson R. E., 1953, *Carnegie Inst. Wash. D.C. Publ.* 601, 0
- <sup>[8]</sup> Yoachim P., Dalcanton J. J., 2005, *Astron. J.*, 131, 226-249

### 9.3 Onlinequellen

[2] Nicholas Wethington, 08.12.2008, <http://www.universetoday.com/21998/the-diameter-of-the-milky-way/>

[13] <http://interstellar.jpl.nasa.gov/interstellar/probe/introduction/neighborhood.html>

[17] <http://www.rssd.esa.int/index.php?project=HIPPARCOS&page=catalog-errors>

[21] <http://www.uni.edu/morgans/astro/course/Notes/section2/spectraltemps.html>

[23] [http://www.ifa.hawaii.edu/~barnes/ast626\\_09/ksn.pdf](http://www.ifa.hawaii.edu/~barnes/ast626_09/ksn.pdf)

[24] <http://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi?sstr=Sedna>

<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/plutofact.html>

*This research has made use of a collection of ISIS scripts provided by the Dr. Karl Remeis observatory, Bamberg, Germany at <http://www.sternwarte.uni-erlangen.de/isis/>.*

## Appendix A

**Tabelle A1.1:** Komponenten der 161 eingeteilten Systeme des 8pc-Gesamtsamples.

System	Komponenten	Anmerkungen
<i>Sample A</i>		
2MASS J03393521-3525440	2MASS J03393521-3525440	
2MASSI J1048147-395606	2MASSI J1048147-395606	
2MUCD 11296	2MUCD 11296	
30 Cas	30 Cas, GJ 53 B	
61 Cyg	61 Cyg A, 61 Cyg B	
107 Psc	107 Psc	
AD Leo	AD Leo	
ADS 7251 AB	HD 79210, HD 79211	
alf Aql	alf Aql	
AN Sex	AN Sex	
AX Mic	AX Mic	
Barnard's Stern	Barnard's Stern	
bet Hyi	bet Hyi	
BR Psc	BR Psc	
CCDM J01398-5612 AB	HR 486, HR 487	
del Pav	del Pav	
DX Cnc	DX Cnc	
EE Leo	EE Leo	
eps Eri	eps Eri	
EQ Peg	EQ Peg A, EQ Peg B	
eta Cas	eta Cas A, eta Cas B	
EV Lac	EV Lac	
EZ Aqr	EZ Aqr	
FI Vir	FI Vir	
FL Vir	GJ 473 A, GJ 473 B	
Fomalhaut	Fomalhaut	
G 99-49	G 99-49	
G 202-48	G 202-48	
GJ 229 AB	HD 42581, GJ 229 B	
GJ 563.2	LHS 379, GJ 563.2 A	
GJ 643/644	GJ 643, GJ 644 A, GJ 644 B, GJ 644 C	GJ 644 A + B = V1054 Oph
GJ 667	GJ 667	
GJ 829	GJ 829 A, GJ 829 B	
GJ 1224	GJ 1224	
GJ 3622	GJ 3662	
GJ 3877	GJ 3877	
GRB 34 AB	GQ And, GX And	
HD 36395	HD 36395	
HD 88230	HD 88230	
HD 113447	HD 113447	
HD 119850	HD 119850	
HD 191849	HD 191849	
HD 209100 Sys	HD 209100, 2MASS J22041052	
HD 217987	HD 217987	
HD 225213	HD 225213	
HD 239960	HD 239960	
HH And	HH And	
HIP 67593	HIP 67593	
HN Lib	HN Lib	
HR 4375	HR 4375	
HR 8832	HR 8832	
IL Aqr	IL Aqr	
IRAS 17122-2632+	2MASS J17152059-2635492, HD 155886, HR 6401, V2215 Oph	HD 155886 + HR 6401 = CCDM J17155-2635 AB

**Tabelle A1.2 (Fortsetzung):** Komponenten der 161 eingeteilten Systeme des 8pc-Gesamtsamples.

System	Komponenten	Anmerkungen
Kapteyn's Stern	Kapteyn's Stern	
ksi Boo	GJ 566 A, GJ 566 B	
KX Lib Sys	KX Lib, CCDM J14574-2124 AB, GJ 570 C, GJ 570 D	CCDM J14574-2124 AB + GJ 570C = HD 131976
LAL 21185	LAL 21185	
LDS 6334	V1298 Aql, V1428 Aql	
LHS 2	LHS 2	
LHS 19	LHS 19	
LHS 38 Sys	LHS 38, WX UMa	
LHS 121	LHS 121	
LHS 146	LHS 146	
LHS 352	LHS 352	
LHS 447	LHS 447	
LHS 486	LHS 486	
LHS 533	LHS 533	
LHS 1723	LHS 1723	
LHS 1879	LHS 1879	
LHS 2272	LHS 2272	
LHS 2459	LHS 2459	
LHS 3558	LHS 3558	
LHS 3595	LHS 3595	
LHS 6193	LHS 6193	
LUY 726	BL Cet, UV Cet	
PMSC 02307+0626	HR 753, BX Cet, GJ 105 C	
PMSC 04107-0748	40 Eri, HD 26976, DY Eri	
PMSC 14328-6025	alf Cen A, alf Cen B, Proxima Centauri	
Procyon AB	Procyon A, Procyon B	
QY Aur	QY Aur, GJ 268 B	
sig Dra	sig Dra	
Sirius AB	Sirius A, Sirius B	
STF 2398 AB	HD 173739, HD 173740	
STN 2051	GJ 169.1 A, GJ 169.1 B	
TW PsA	TW PsA	
V577 Mon	GJ 234 A, GJ 234 B	
V1216 Sgr	V1216 Sgr	
V1352 Ori	V1352 Ori	
V2306 Oph	V2306 Oph	
V2391 Oph	GJ 702 A, GJ 702 B	
Van Maanen's Stern	Van Maanen's Stern	
Vega	Vega	
VX Ari	VX Ari	
YZ Cet	YZ Cet	
YZ CMi	YZ CMi	
<i>Sample B</i>		
CN Leo	CN Leo	
DG CVn	DG CVn	
GJ 102	GJ 102	
GJ 674	GJ 674	
GJ 687	GJ 687	
GJ 2005	GJ 2005	
GJ 2097	GJ 2097	
GL Vir	GL Vir	
HD 165222	HD 165222	
LHS 35	LHS 35	
LHS 451	LHS 451	
LHS 3685	LHS 3685	
PMSC 19506+4410	GJ 1245 A, GJ 1245 B, GJ 1245 C	

**Tabelle A1.3 (Fortsetzung):** Komponenten der 161 eingeteilten Systeme des 8pc-Gesamtsamples.

System	Komponenten	Anmerkungen
<i>Sample C</i>		
2MASS J02530084+1652532	2MASS J02530084+1652532	
2MASS J02540788+0223563	2MASS J02540788+0223563	
2MASS J04151954-0935066	2MASS J04151954-0935066	
2MASS J08173001-6155158	2MASS J08173001-6155158	
2MASS J09373487+2931409	2MASS J09373487+2931409	
2MASS J18450541-6357475	2MASS J18450541-6357475	
8pc 156.30	8pc 156.30	
8pc 162.00B	8pc 162.00 B	
BD-17 3725	BD-17 3725	
CCDM J11432-3926 BC	CCDM J11432-3926 BC	
CSI-57-17438	CSI-57-17438	
DENIS-P J025503.3-470049	DENIS-P J025503.3-470049	
G 41-14	8pc 224.00 A, 8pc 224.00 B, 8pc 224.00 C	
G 203-47	G 203-47 A, G 203-47 B	
GJ 185	GJ 185 A, GJ 185 B	
GJ 293	GJ 293	
GJ 440	GJ 440	
GJ 588	GJ 588	
GJ 693	GJ 693	
GJ 1005	GJ 1005 A, GJ 1005 B	
GJ 1221	GJ 1221	
GJ 4053	GJ 4053	
GJ 4274	GJ 4274	
HIP 82725	HIP 82725	
HIP 83609	HIP 83609	
HIP 85605	HIP 85605	
HL 4	HL 4	
HN Lib	HN Lib	
LDS 3836	LHS 2077, EI Cnc	
LHS 33	LHS 33	
LHS 60	LHS 60	
LHS 223	LHS 223	
LHS 288	LHS 288	
LHS 328	LHS 328	
LHS 337	LHS 337	
LHS 340	LHS 340	
LHS 546	LHS 546	
LHS 1565	LHS 1565	
LHS 1805	LHS 1805	
LHS 1989	LHS 1989	
LHS 2090	LHS 2090	
LHS 3746	LHS 3746	
LP 229-17	LP 229-17	
LP 816-60	LP 816-60	
UGPS J072227.51-054031.2	UGPS J072227.51-054031.2	
TYC-GSC-1723 Sys	TYC1723-143-1, GSC 01723-00061	Bindung vermutet
TZ Ari	TZ Ari	
V1201 Ori	V1201 Ori	
WISE J041022.71+150248.4	WISE J041022.71+150248.4	
WISE J140518.39+553421.3	WISE J140518.39+553421.3	
WISEP J154151.66-225025.2	WISEP J154151.66-225025.2	
WISEP J174124.26+255319.5	WISEP J174124.26+255319.5	
<i>Weitere Systeme</i>		
Luhman 16	Luhman 16 A, Luhman 16 B	
Luhman 16 war zum Zeitpunkt der Erstellung des 8pc-Samples noch nicht in Simbad als Mitglied desselben geführt.		

**Tabelle A2.1:** Äquatoriale Raumkoordinaten der 161 eingeteilten Systeme des 8pc-Gesamtsamples.

System	Rektaszension			Deklination		Parallaxe in mas	Err Parallaxe in mas	
	h	m	s	deg	'			"
<i>Sample A</i>								
2MASS J03393521-3525440	03	39	35.220	-35	25	44.09	201.4	4.2
2MASS J1048147-395606	10	48	14.640	-39	56	06.24	249.78	0.69
2MUCD 11296	15	07	47.693	-16	27	38.62	136.4	0.6
30 Cas	01	08	16.39470	+54	55	13.2264	132.38	0.82
61 Cyg	21	06	54.584	+38	44	45.188	285.954	0.732
107 Psc	01	42	29.76170	+20	16	06.6015	132.76	0.50
AD Leo	10	19	36.277	+19	52	12.06	213.00	4.00
ADS 7251 AB	09	14	23.421	+52	41	11.513	167.913	5.236
alf Aql	19	15	46.99855	+08	52	05.9563	194.59	0.57
AN Sex	10	12	17.66904	-03	44	44.3966	127.08	1.90
AX Mic	21	17	15.26879	-38	52	02.4958	253.41	0.80
Barnard's Stern	17	57	48.49803	+04	41	36.2072	548.31	1.51
bet Hyi	00	25	45.07036	-77	15	15.2860	134.07	0.11
BR Psc	23	49	12.52790	+02	24	04.4072	167.29	1.23
CCDM J01398-5612 AB	01	39	47.548	-56	11	44.425	127.84	2.19
del Pav	20	08	43.60953	-66	10	55.4436	163.71	0.17
DX Cnc	08	29	49.345	+26	46	33.74	275.8	3
EE Leo	10	50	52.03129	+06	48	29.2278	147.92	3.52
eps Eri	03	32	55.84496	-09	27	29.7312	310.94	0.16
EQ Peg	23	31	52.262	+19	56	14.124	161.76	1.66
eta Cas	00	49	06.29070	+57	48	54.6758	167.98	0.48
EV Lac	22	46	49.73171	+44	20	02.3569	195.22	1.87
EZ Aqr	22	38	33.728	-15	17	57.33	300	5
FI Vir	11	47	44.405	+00	48	16.44	298.04	2.30
FL Vir	12	33	17.235	+09	01	18.637	227	5
Fomalhaut	22	57	39.04625	-29	37	20.0533	129.81	0.47
G 99-49	06	00	03.495	+02	42	23.67	190.93	1.89
G 202-48	16	25	24.62333	+54	18	14.7733	153.46	0.99
GJ 229 AB	06	10	34.645	-21	51	53.871	173.81	0.99
GJ 563.2	14	49	32.209	-26	06	31.042	231.640	31.514
GJ 663/664	16	55	28.453	-08	20	19.299	154.103	3.598
GJ 667	17	18	57.16483	-34	59	23.1416	146.29	9.03
GJ 829	21	29	36.81113	+17	38	35.8521	149.15	1.81
GJ 1224	18	07	32.927	-15	57	46.46	132.6	3.7
GJ 3622	10	48	12.583	-11	20	08.23	221.0	3.6
GJ 3877	14	56	38.314	-28	09	47.38	157.8	5.1
GRB 34 AB	00	18	23.661	+44	01	27.086	278.76	0.77
HD 36395	05	31	27.39595	-03	40	38.0311	176.77	1.18
HD 88230	10	11	22.14051	+49	27	15.2567	205.21	0.54
HD 113447	13	03	28.67463	+25	47	49.1500	216.62	56.53
HD 119850	13	45	43.77665	+14	53	29.4635	185.49	1.10
HD 155876	17	12	07.864	+45	39	57.721	167.29	5.02
HD 191849	20	13	53.39765	-45	09	50.4723	161.34	1.00
HD 209100 Sys	22	03	26.875	-56	47	8.255	276.048	0.270
HD 217987	23	05	52.03604	-35	51	11.0475	305.26	0.70
HD 225213	00	05	24.42828	-37	21	26.5010	230.42	0.90
HD 239960	22	27	59.47299	+57	41	45.2325	249.94	1.87
HH And	23	41	54.989	+44	10	40.78	316.7	0.7
HIP 67593	13	51	00.903	+23	45	56.05	187.76	66.41
HN Lib	14	34	16.81183	-12	31	10.3965	164.99	3.29
HR 4375	11	18	10.902	+31	31	44.98	127	6
HR 8832	23	13	16.97632	+57	10	06.0823	152.76	0.29
IL Aqr	22	53	16.73352	-14	15	49.3186	213.28	2.12
IRAS 17122-2632+	17	15	45.820	-26	34	33.203	168.277	0.435



**Tabelle A2.2 (Fortsetzung):** Äquatoriale Raumkoordinaten der 161 eingeteilten Systeme des 8pc-Gesamtsamples.

System	Rektaszension			Deklination		Parallaxe in mas	Err Parallaxe in mas	
	h	m	s	deg	'			"
Kapteyn's Stern	05	11	40.58112	-45	01	06.2899	255.66	0.91
ksi Boo	14	51	23.280	+19	06	02.996	148.98	0.48
KX Lib Sys	14	57	26.610	-21	24	38.148	171.156	1.073
LAL 21185	11	03	20.19400	+35	58	11.5682	392.64	0.67
LDS 6334	19	16	55.601	+05	09	58.457	170.079	1.101
LHS 2	00	06	43.255	-07	32	14.71	213	3.6
LHS 19	03	19	55.65093	-43	04	11.2175	165.47	0.19
LHS 38 Sys	11	05	29.396	+43	31	30.648	206.27	1.00
LHS 121	00	48	22.97665	+05	16	50.2129	134.14	0.51
LHS 146	01	44	04.08338	-15	56	14.9262	273.96	0.17
LHS 352	13	29	59.78622	+10	22	37.7908	130.62	1.05
LHS 447	17	25	45.23266	+02	06	41.1208	129.86	0.73
LHS 486	20	11	11.93827	-36	06	04.3610	166.25	0.27
LHS 533	22	56	34.80475	+16	33	12.3541	146.09	1.00
LHS 1723	05	01	57.469	-06	56	45.92	187.92	1.26
LHS 1879	06	54	48.96009	+33	16	05.4393	179.01	1.60
LHS 2272	10	28	55.55087	+00	50	27.6218	141.50	2.22
LHS 2459	11	47	41.37754	+78	41	28.1868	186.86	1.70
LHS 3558	20	30	32.04486	+65	26	58.4089	125.07	1.08
LHS 3595	20	53	19.79051	+62	09	15.8028	141.87	0.64
LHS 6193	11	00	04.25686	+22	49	58.6491	150.10	1.70
LUY 726	01	39	1.384	-17	57	2.196	381	6
PMSC 02307+0626	02	36	07.181	+06	53	1.155	138.920	0.486
PMSC 04107-0748	04	15	18.946	-07	39	17.672	200.62	0.23
PMSC 14328-6025	14	38	44.82	-60	59	41.332	762.203	3.977
Procyon AB	07	39	18.535	+05	14	0.230	284.56	1.26
QY Aur	07	10	01.83458	+38	31	46.0672	158.87	3.35
sig Dra	19	32	21.59026	+69	39	40.2354	173.77	0.18
Sirius AB	06	45	08.93	-16	42	59.26	379.21	1.58
STF 2398 AB	18	42	46.817	+59	37	43.199	283.746	2.070
STN 2051	04	31	12.178	+58	58	39.869	179.574	1.170
TW PsA	22	56	24.05327	-31	33	56.0351	131.42	0.62
V577 Mon	06	29	23.4	-02	48	50.3	242.32	3.12
V1216 Sgr	18	49	49.36216	-23	50	10.4291	336.72	2.03
V1352 Ori	05	42	09.26772	+12	29	21.6225	171.55	3.99
V2306 Oph	16	30	18.05803	-12	39	45.3232	232.98	1.60
V2391 Oph	18	05	27.340	+02	29	59.160	196.72	0.83
Van Maanen's Stern	00	49	09.90175	+05	23	19.0117	234.60	5.90
Vega	18	36	56.33635	+38	47	01.2802	130.23	0.36
VX Ari	02	44	15.50904	+25	31	24.1088	133.16	2.26
YZ Cet	01	12	30.63918	-16	59	56.3353	271.01	8.36
YZ CMi	07	44	40.17401	+03	33	08.8350	167.88	2.31
<i>Sample B</i>								
CN Leo	10	56	28.865	+07	00	52.77	418.3	2.5
DG CVn	13	31	46.617	+29	16	36.72	126	0.0
GJ 102	02	33	37.172	+24	55	39.24	129	12
GJ 674	17	28	39.94461	-46	53	42.6930	220.24	1.42
GJ 687	17	36	25.89973	+68	20	20.9108	220.84	0.94
GJ 2005	00	24	44.194	-27	08	24.24	135.3	12.1
GJ 2097	13	07	04.307	+20	48	38.54	156.00	-
GL Vir	12	18	59.395	+11	07	33.90	152.9	3
HD 165222	18	05	07.57896	-03	01	52.7575	128.89	1.43
LHS 35	08	11	57.575	+08	46	22.05	148	2.6
LHS 451	17	37	03.66242	-44	19	09.1697	196.90	2.15

**Tabelle A2.3 (Fortsetzung):** Äquatoriale Raumkoordinaten der 161 eingeteilten Systeme des 8pc-Gesamtsamples.

System	Rektaszension			Deklination		Parallaxe	Err Parallaxe	
	h	m	s	deg	'	''	in mas	in mas
LHS 3685	21	33	33.97533	-49	00	32.4192	201.87	1.01
PMSC 19506+4410	19	53	55.089	+44	24	55.03	220.0	0.708
<i>Sample C</i>								
2MASS J02530084+1652532	02	53	00.849	+16	52	53.28	260.63	2.69
2MASS J02540788+0223563	02	54	07.886	+02	23	56.35	165	4.6
2MASS J04151954-0935066	04	15	19.54	-09	35	06.7	174	-
2MASS J08173001-6155158	08	17	30.011	-61	55	15.82	203	13
2MASS J09373487+2931409	09	37	34.88	+29	31	41.0	163	-
2MASS J18450541-6357475	18	45	05.418	-63	57	47.55	259.45	1.11
8pc 156.30	14	56	38.58	-30	10	33.6	156.30	-
8pc 162.00B	07	36	25.00	+07	04	44.0	162.00	-
BD-17 3725	12	53	58.71882	-18	02	04.7254	132.83	38.32
CCDM J11432-3926 BC	11	43	11.78701	-39	25	56.3570	187.20	37.48
CSI-57-17438	17	46.7		-57	17		167	5
DENIS-P J025503.3-470049	02	55	03.579	-47	00	50.99	201.37	3.89
G 41-14	08	58	56.33	+08	28	25.9	147.66	1.98
G 203-47	17	09	31.54413	+43	40	52.8270	134.31	1.99
GJ 185	05	02	28.42030	-21	15	23.9203	116.59	1.51
GJ 293	07	53	08.15	-67	47	31.4	126.25	1.34
GJ 440	11	45	42.91881	-64	50	29.4644	215.80	1.25
GJ 588	15	32	12.93186	-41	16	32.1081	168.66	1.30
GJ 693	17	46	34.22971	-57	19	08.5550	171.48	2.31
GJ 1005	00	15	27.93045	-16	08	58.81515	200.53	9.41
GJ 1221	17	48	08.17	+70	52	35.3	164	4
GJ 4053	18	18	57.258	+66	11	33.21	137.3	5.3
GJ 4274	22	23	06.97	-17	36	25.0	134.1	5.6
HIP 82725	16	54	32.50436	-62	24	11.7766	241.17	33.78
HIP 83609	17	05	20.95264	-33	46	03.4415	178.08	46.98
HIP 85605	17	29	36.24527	+24	39	14.1204	146.84	29.81
HL 4	05	55	09.489	-04	10	04.30	156.13	0.84
LDS 3836	08	58	15.141	+19	45	47.045	190.0	3.572
LHS 33	07	27	24.49975	+05	13	32.8332	262.98	1.39
LHS 60	19	20	47.955	-45	33	28.33	169	8
LHS 223	06	59	28.689	+19	20	57.74	128.8	-
LHS 288	10	44	21.320	-61	12	38.44	208.95	2.73
LHS 328	12	28	40.34	-71	27	54.2	152	47
LHS 337	12	38	49.141	-38	22	52.80	156.78	1.99
LHS 340	12	40	46.28898	-43	33	58.9535	128.52	3.90
LHS 546	23	35	10.504	-02	23	21.44	138.3	3.5
LHS 1565	03	35	59.69	-44	30	45.3	271.92	1.34
LHS 1805	06	01	11.065	+59	35	50.82	126.136	-
LHS 1989	08	12	40.881	-21	33	05.68	125.60	0.97
LHS 2090	09	00	23.594	+21	50	05.43	156.87	2.67
LHS 3746	22	02	29.353	-37	04	51.22	134.29	1.31
LP 229-17	18	34	36.648	+40	07	26.39	138	40
LP 816-60	20	52	33.01679	-16	58	29.0249	175.03	3.40
UGPS J072227.51-054031.2	07	22	27.87	-05	40	31.1	340	40
TYC-GSC-1723 Sys	23	31	52.808	+19	56	44.701	160.06	-
TZ Ari	02	00	12.959	+13	03	07.01	222	5
V1201 Ori	05	56	25.47	+05	21	48.6	125	3.6
WISE J041022.71+150248.4	04	10	22.71	+15	02	48.5	164	-
WISE J140518.39+553421.3	14	05	18.40	+55	34	21.5	207	-
WISEP J154151.66-225025.2	15	41	51.66	-22	50	25.2	351	10.8
WISEP J174124.26+255319.5	17	41	24.26	+25	53	19.5	182	3.8

**Tabelle A2.4 (Fortsetzung):** Äquatoriale Raumkoordinaten der 161 eingeteilten Systeme des 8pc-Gesamtsamples.

System	Rektaszension	Deklination	Parallaxe	Err Parallaxe
	h m s	deg ' "	in mas	in mas
<i>Weitere Systeme</i>				
Luhman 16	10 49 18.723	-53 19 09.86	354	6

**Tabelle A3.1:** Eigenbewegungen und Spektraltypen der Komponenten der 161 eingeteilten Systeme des 8pc-Gesamtsamples. Die teilweise mit drei Nachkommastellen angegebenen Fehler weisen nicht immer auf eine solche Messgenauigkeit hin, sondern stellen in vielen Fällen nur die Ergebnisse der gewichteten System-Eigenschaftsberechnungen dar.

System	PM-RA	PM-DE	Err PM-RA	Err PM-DE	Spektraltypen
	in mas	in mas	in mas	in mas	
<i>Sample A</i>					
2MASS J03393521-3525440	317	276	52	60	M9V
2MASSI J1048147-395606	-1198	-970	25	41	M9V
2MUCD 11296	-92	-875	60	6	L5.5
30 Cas	3422.23	-1598.93	0.60	0.89	G5V
61 Cyg	4109.961	3149.381	1.103	1.687	K5, K7
107 Psc	-302.42	-678.88	0.60	0.41	K1V
AD Leo	-501.8	-42.8	1.5	1.4	M4.5V
ADS 7251 AB	-1540.162	-592.274	5.758	5.107	G0.8, M0.0
alf Aql	536.23	385.29	0.51	0.47	A7V
AN Sex	-151.09	-244.31	1.40	1.17	M2.0V
AX Mic	-3260.29	-1146.22	0.92	0.40	M0V
Barnard's Stern	-798.58	10328.12	1.72	1.22	M4.0V
bet Hyi	2219.54	324.09	0.11	0.11	G0V
BR Psc	996.96	-967.88	1.93	0.69	M2V
CCDM J01398-5612 AB	301.582	-12.186	1.778	1.970	K5, K5
del Pav	1211.03	-1130.05	0.13	0.13	G8IV
DX Cnc	-1112.2	-610.9	4.4	4.5	M6.5V
EE Leo	-855.92	-822.34	5.41	2.49	M5.0V
eps Eri	-975.17	19.49	0.21	0.20	K2V
EQ Peg	553.436	-55.033	1.455	1.535	M3.5, M4.5
eta Cas	1086.59	-559.43	0.33	0.40	G3V
EV Lac	-705.36	-460.72	1.12	1.33	M4.5V
EZ Aqr	2314	2295	5	5	M6
FI Vir	605.26	-1219.28	2.32	1.97	M4.5V
FL Vir	-1744	263	25	25	M4.5, M7
Fomalhaut	328.95	-164.67	0.50	0.35	A4V
G 99-49	311.1	-42.4	2.8	2.7	M4V
G 202-48	432.29	-170.20	1.14	1.08	M2V
GJ 229 AB	-137.081	-713.750	0.461	0.664	M1.5, T7
GJ 563.2	-1393.570	-41.892	35.769	44.477	M1.5, M1
GJ 643/644	-813.615	-886.371	4.731	3.212	M3.5, M3.5, M7
GJ 667	1129.76	-77.02	9.72	4.67	K3, K5
GJ 829	1007.13	377.27	1.13	2.75	M4, M3.5
GJ 1224	-617	-342	5	5	M4.5V
GJ 3622	580	-1531	5	5	M6.0V
GJ 3877	-497	-827	5	5	M7.0V
GRB 34 AB	2888.92	410.10	0.60	0.48	M6.0, M2.0
HD 36395	761.86	-2093.60	1.37	0.76	M1.5V
HD 88230	-1362.32	-504.52	0.43	0.32	K8V
HD 113447	-12.24	-39.84	46.64	34.94	F3V
HD 119850	1778.45	-1456.44	0.86	0.78	M4.0V
HD 155876	348.59	-1624.84	5.68	6.80	K5
HD 191849	779.73	-159.89	1.55	1.15	M0V

**Tabelle A3.2 (Fortsetzung):** Eigenbewegungen und Spektraltypen der Komponenten der 161 eingeteilten Systeme des 8pc-Gesamtsamples

System	PM-RA	PM-DE	Err	Err	Spektraltypen
	in mas	in mas	PM-RA	PM-DE	
HD 209100 Sys	3961.155	-2539.200	0.378	0.176	K5, T5
HD 217987	6768.20	1327.52	0.59	0.68	M2V
HD 225213	5634.68	-2337.71	0.86	0.71	M1.5
HD 239960	-865.47	-461.53	2.16	2.03	M5.0
HH And	115.10	-1592.77	0.40	0.41	M6.0V
HIP 67593	7.1	-13.1	1.8	1.8	-
HN Lib	-354.45	595.35	3.45	2.52	M4.0V
HR 4375	-453.7	-591.4	4.1	4.4	G0V
HR 8832	2075.07	295.45	0.33	0.25	K3V
IL Aqr	959.84	-675.33	3.36	1.68	M5.0V
IRAS 17122-2632+	-472.243	-1131.823	1.232	1.404	K2, K2, K5
Kapteyn's Stern	6505.08	-5730.84	0.98	0.96	sdM1.0
ksi Boo	151.960	-70.923	1.141	1.601	G8, K4
KX Lib Sys	1034.715	-1724.648	1.264	0.886	K4, T7.5, M1.5
LAL 21185	-580.27	-4765.85	0.62	0.64	M2.0V
LDS 6334	-578.78	-1331.95	1.07	0.74	M8, M3.5
LHS 2	-749	-1922	112	44	M5.5V
LHS 19	3038.34	726.58	0.20	0.21	G8V
LHS 38 Sys	-4410.43	942.93	0.78	0.70	M2, M6
LHS 121	757.11	-1141.33	0.48	0.34	K2.5V
LHS 146	-1721.05	854.16	0.18	0.15	G8.5V
LHS 352	1128.32	-1073.47	0.89	0.52	M1.0V
LHS 447	-579.66	-1184.76	0.61	0.43	K7V
LHS 486	456.99	-1574.64	0.33	0.22	K2.5V
LHS 533	-1034.34	-284.09	0.97	1.06	M2.0V
LHS 1723	-550	-533	5	5	M4.0V
LHS 1879	-723.99	-398.40	1.84	1.21	M4.0V
LHS 2272	-603.75	-728.94	1.90	2.04	M2.5
LHS 2459	743.61	481.40	1.87	1.51	M4.0
LHS 3558	443.01	283.32	0.92	1.14	M3.0V
LHS 3595	1.56	-774.55	0.57	0.68	M2.0V
LHS 6193	-427.01	-281.82	1.75	1.08	M3.0
LUY 726	3296	563	5	5	M5.5, M6
PMSC 02307+0626	1807.78	1444.02	0.89	0.40	K3, M4.5, M6
PMSC 04107-0748	-2239.709	-3419.209	0.279	0.330	K0.5, M 5, D
PMSC 14328-6025	-3691.481	635.740	14.18	30.18	G1, K1, M6
Procyon AB	-715.989	-1035.250	0.454	0.929	F5, D
QY Aur	-437.44	-947.44	5.21	2.85	M4.5, M6
sig Dra	598.07	-1738.40	0.17	0.19	G9V
Sirius AB	-546.020	-1222.925	1.340	1.250	A1, D
STF 2398 AB	-1334.577	1808.119	1.994	2.309	M3, M3.5
STN 2051	1302.66	-2046.70	3.47	2.65	M4, DC7
TW PsA	331.11	-158.98	0.65	0.48	K4V
V577 Mon	705.28	-611.92	2.66	2.40	M4, M5.5
V1216 Sgr	637.02	-191.64	2.80	1.70	M3V
V1352 Ori	2000.53	-1569.63	2.93	1.75	M4.0V
V2306 Oph	-94.81	-1183.43	2.30	1.74	M3.5V
V2391 Oph	138.084	-973.284	3.824	2.908	K0, K4
Van Maanen's Stern	1236.90	-2709.19	5.26	3.18	DZ8
Vega	200.94	286.23	0.32	0.40	A0V
VX Ari	863.90	-364.16	1.95	1.49	M3.5V
YZ Cet	1208.53	640.73	5.57	3.71	M4V
YZ CMi	-345.25	-450.70	2.40	1.68	M4.5V

**Tabelle A3.3 (Fortsetzung):** Eigenbewegungen und Spektraltypen der Komponenten der 161 eingeteilten Systeme des 8pc-Gesamtsamples

System	PM-RA	PM-DE	Err PM-RA	Err PM-DE	Spektraltypen
	in mas	in mas	in mas	in mas	
<i>Sample B</i>					
CN Leo	-3842	-2725	-	-	M6.0V
DG CVn	-234.7	-137.3	2.6	2.6	M4.0V
GJ 102	58	-669	-	-	M4
GJ 674	571.26	-880.83	1.77	0.74	M3V
GJ 687	-320.57	-1269.33	1.14	1.39	M3.5V
GJ 2005	-55	612	-	-	M6.0V
GJ 2097	-96	-79	3	3	M1.5V
GL Vir	-1263	199	-	-	M5.0V
HD 165222	570.26	-333.47	1.28	1.05	M2.0V
LHS 35	1099	-5123	-	-	M4.5V
LHS 451	-708.98	-937.40	2.55	1.88	M3.5
LHS 3685	-46.05	-817.63	0.95	0.59	M1.5
PMSC 19506+4410	397	-482	-	-	M5.5, M5.5, M5.5
<i>Sample C</i>					
2MASS J02530084+1652532	3386	-3747	-	-	M7
2MASS J02540788+0223563	2534	234	37	28	T8.0
2MASS J04151954-0935066	2193	527	2	3	T8
2MASS J08173001-6155158	-	-	-	-	T6
2MASS J09373487+2931409	973	-1298	6	5	T6
2MASS J18450541-6357475	2444	696	42	147	M8.5
8pc 156.30	-482.50	-835.70	-	-	-
8pc 162.00B	-	-	-	-	M5.0
BD-17 3725	-21.92	148.70	31.72	17.36	A2
CCDM J11432-3926 BC	-319.83	203.84	29.49	31.45	G1
CSI-57-17438	-1055	-1423	28.001	29.999	-
DENIS-P J025503.3-470049	1053	-547	6	11	L8
G 41-14	374	-344	-	-	M3.5
G 203-47	334.58	-282.08	2.10	2.28	M3
GJ 185	-143.42	-221.81	1.10	1.18	M0V
GJ 293	1462.3	-1503.7	0.7	0.7	DC10
GJ 440	2668.5	-352.7	3.8	4.0	DQ6
GJ 588	-1177.12	-1028.54	1.34	1.16	M2.5
GJ 693	-1119.14	-1352.78	2.20	1.57	M2.0
GJ 1005	731.83	-607.73	5.52	12.81	M4.0
GJ 1221	-1262	1117	-	-	DQ9P
GJ 4053	442	-447	-	-	M4.5V
GJ 4274	248	-895	231	64	M4
HIP 82725	280.74	189.74	18.80	18.92	K0IV
HIP 83609	362.41	-239.71	66.60	37.77	G0
HIP 85605	4.0	-7.6	1.9	2.0	-
HL 4	550.6	-2311.3	0.6	0.6	DZ11
LDS 3836	-862	-54	-	-	M5.5, M8
LHS 33	572.51	-3693.51	1.50	0.96	M3.5V
LHS 60	792	-3008	100	100	M4.5
LHS 223	903	-906	-	-	M5.0V
LHS 288	-334	1626	7	9	M4
LHS 328	-436	1086	-	-	K
LHS 337	-567	-1399	100	100	M4.5V
LHS 340	-781.58	693.43	2.59	2.43	M3.0
LHS 546	850	-957	100	100	M5.5V
LHS 1565	730	-330	20	60	M5.5
LHS 1805	-13	-1163	-	-	M3.5V

**Tabelle A3.3 (Fortsetzung):** Eigenbewegungen und Spektraltypen der Komponenten der 161 eingeteilten Systeme des 8pc-Gesamtsamples

System	PM-RA	PM-DE	Err	Err	Spektraltypen
	in mas	in mas	PM-RA	PM-DE	
LHS 1989	9	-694	5	5	M4
LHS 2090	-513	-591	-	-	M6.5
LHS 3746	910	-337	100	100	M3.5
LP 229-17	57.9	-203.0	2.4	2.6	M3.5V
LP 816-60	-307.74	34.79	3.86	4.26	M4V
UGPS J072227.51-054031.2	-858	108	8	8	T9
TYC-GSC-1723 Sys	7.377	12.328	2.770	2.825	M4, M5
TZ Ari	1092.0	-1772.9	3.4	3.2	M4.5V
V1201 Ori	-434	-931	-	-	DA8P
WISE J041022.71+150248.4	-	-	-	-	Y0
WISE J140518.39+553421.3	-	-	-	-	Y0
WISEP J154151.66-225025.2	-780	-218	249	234	Y0
WISEP J174124.26+255319.5	-488	-1476	16	16	T9
<i>Weitere Systeme</i>					
Luhman 16	-2759	354	6	6	L8, T1

**Tabelle A4.1:** Radialgeschwindigkeiten (RV) der 161 eingeteilten Systeme des 8pc-Gesamtsamples

System	RV	RV Err.	System	RV	RV Err.
	in km/s			in km/s	
2MASS J03393521-3525440	7.6	3	ksi Boo	2.971	1.744
2MASSI J1048147-395606	-10.1	0.5	KX Lib Sys	25.9	1.456
2MUCD 11296	-39.85	0.05	LAL 21185	-85.0	0.9
30 Cas	-97.2	0.9	LDS 6334	32.4	2
61 Cyg	-65.224	0.616	LHS 2	-33.7	3.8
107 Psc	-33.5	0.9	LHS 19	87.3	0.9
AD Leo	12.36	0.05	LHS 38 Sys	67.495	0.976
ADS 7251 AB	10.736	0.676	LHS 121	-12.6	2
alf Aql	-26.1	0.9	LHS 146	-16.4	0.9
AN Sex	12.2	5	LHS 352	16.2	2
AX Mic	23	5	LHS 447	-24.4	0.1
Barnard's Stern	-110.51	0.1	LHS 486	-129.8	0.9
bet Hyi	22.7	0.9	LHS 533	-19	5
BR Psc	-64	5	LHS 1723	42.0	0.1
CCDM J01398-5612 AB	23.988	0.09	LHS 1879	36	10
del Pav	-21.7	0.9	LHS 2272	12.7	5
DX Cnc	9.0	0.5	LHS 2459	-111.65	0.1
EE Leo	4	10	LHS 3558	24	5
eps Eri	15.5	0.9	LHS 3595	-15.9	5
EQ Peg	1.631	0.287	LHS 6193	29	10
eta Cas	10.0	0.1	LUY 726	29.0	2
EV Lac	0.33	0.13	PMSC 02307+0626	23.4	2
EZ Aqr	-60.0	2	PMSC 04107-0748	-41.226	1.017
FI Vir	-31.0	0.2	PMSC 14328-6025	-22.617	0.508
FL Vir	-5	5	Procyon AB	-3.2	0.9
Fomalhaut	6.5	0.9	QY Aur	39	10
G 99-49	30.0	0.1	sig Dra	26.7	0.9
G 202-48	-12.8	0.5	Sirius AB	-7.6	0.9
GJ 229 AB	3.93	0.16	STF 2398 AB	-0.038	0.249
GJ 563.2	-36.9	10	STN 2051	1.486	5.461
GJ 643/644	17.969	0.659	TW PsA	0.45	2.2

**Tabelle A4.2 (Fortsetzung):** Radialgeschwindigkeiten (RV) der 161 eingeteilten Systeme des 8pc-Gesamtsamples

System	RV	RV Err.	System	RV	RV Err.
	in km/s			in km/s	
GJ 667	0	5	V577 Mon	24	5
GJ 829	1	5	V1216 Sgr	-4.0	2
GJ 1224	-34.0	0.1	V1352 Ori	103	5
GJ 3622	-0.2	3	V2306 Oph	-13	5
GJ 3877	1.0	1.5	V2391 Oph	-7.016	0.130
GRB 34 AB	11.585	0.087	Van Maanen's Stern	263	5
HD 36395	7.64	0.53	Vega	-13.9	0.9
HD 88230	-26.1	2	VX Ari	47	10
HD 113447	-32.8	4.2	YZ Cet	28	5
HD 119850	15.3	2	YZ CMi	0.33	0.13
HD 155876	-19	5	CN Leo	13	5
HD 191849	-31.1	0.9	DG Cvn	8.0	0.1
HD 209100	-40.4	0.9	GJ 102	-0.3	10.0
HD 217987	9.7	2	GJ 674	-3.5	-
HD 225213	23.6	2	GJ 687	-23.2	-
HD 239960	-24	5	GJ 2005	-35.1	3
HH And	-75.2	3.7	GJ 2097	-12.0	0.1
HIP 67593	4.4	0.4	GL Vir	5.82	0.24
HN Lib	-9.5	0.5	HD 165222	33.6	-
HR 4375	-15.5	0.9	LHS 35	-35	5
HR 8832	-17.8	2	LHS 451	-60.0	-
IL Aqr	8.7	2	LHS 3685	18.0	-
IRAS 17122-2632	0.001	0.111	PMSC 19506+4410	5.43	0.1
Kapteyn's Stern	245.5	2			

Anm.: Für die Sterne des Samples C liegt keine einzige Angabe einer Radialgeschwindigkeit vor.

## Appendix B

Setze an

$$a = F_R / M_\star \quad (\text{B1})$$

als die Amplitude der durch die Stokes-Reibungskraft  $F_R$  des Interstellaren Mediums verursachten, der Geschwindigkeit entgegen gerichteten Beschleunigung eines sich bewegenden Sterns der Masse  $M$ . Dann gilt

$$v - a \cdot \tau \stackrel{!}{=} 0 \quad (\text{B2})$$

Als Relaxationszeit kann man die Dauer  $\tau$  betrachten, die es braucht, bis der Stern mit einer anfänglichen Geschwindigkeit  $v$  schließlich durch die Bremsbeschleunigung  $a$  des ISM zum Stillstand gekommen ist. Die Auswirkung des Interstellaren Mediums auf die Bewegung kann vernachlässigt werden, solange die betrachteten Zeiträume viel kleiner sind als die Relaxationszeit  $\tau$ . Man findet

$$\tau = M_\star / 6\pi r \eta_{\text{ISM}} \quad (\text{B3})$$

mit den Werten aus Abschnitt 2.2 und damit eine Größenordnung der Relaxation von  $\tau \gg 10^{10}$  Jahre.



## Appendix C

**Tabelle C1.1:** Erwartungswerte der Echtzeitpositionen der Schwerpunkte der Systeme der Samples A & B

System	x-Position	y-Position	z-Position
	in kpc	in kpc	in kpc
<i>Sample A</i>			
2MASS J03393521-3525440	-8.40159	-0.00242	-0.00391
2MASSI J1048147-395606	-8.39942	-0.00377	0.00117
2MUCD 11296	-8.39423	-0.00164	0.00424
30 Cas	-8.40433	0.00611	-0.00104
61 Cyg	-8.39954	0.00344	-0.00035
107 Psc	-8.40427	0.00372	-0.00493
AD Leo	-8.40215	-0.00159	0.00376
ADS 7251 AB	-8.40410	0.00110	0.00391
alf Aql	-8.39660	0.00374	-0.00079
AN Sex	-8.40244	-0.00535	0.00506
AX Mic	-8.39719	0.00019	-0.00275
bet Hyi	-8.39673	-0.00471	-0.00477
BR Psc	-8.40020	0.00327	-0.00502
CCDM J01398-5612AB	-8.39870	-0.00366	-0.00664
del Pav	-8.39555	-0.00259	-0.00327
DX Cnc	-8.40294	-0.00090	0.00195
EE Leo	-8.40180	-0.00349	0.00559
eps Eri	-8.40207	-0.00059	-0.00239
EQ Peg	-8.40072	0.00476	-0.00392
eta Cas	-8.40319	0.00498	-0.00052
EV Lac	-8.40092	0.00493	-0.00116
EZ Aqr	-8.39875	0.00134	-0.00282
FI Vir	-8.34000	-0.00171	0.00290
FL Vir	-8.39954	-0.00134	0.00422
Fomalhaut	-8.39695	0.00114	-0.00695
G 99-49	-8.40464	-0.00212	-0.00091
G 202-48	-8.39944	0.00472	0.00440
GJ 229 AB	-8.40359	-0.00407	-0.00181
GJ 563.2	-8.39709	-0.00145	0.00185
GJ 643/644	-8.39420	0.00113	0.00229
GJ 667	-8.39365	-0.00091	0.00016
GJ 829	-8.39788	0.00569	-0.00266
GJ 1224	-8.39288	0.00174	0.00028
GJ 3622	-8.40052	-0.00330	0.00294
GJ 3877	-8.39509	-0.00240	0.00279
GRB 34 AB	-8.40153	0.00304	-0.00114
HD 36395	-8.40472	-0.00240	-0.00187
HD 88230	-8.40289	0.00073	0.00384
HD 113447	-8.39973	0.00003	0.00514
HD 119850	-8.39840	-0.00024	0.00511
HD 155876	-8.39850	0.00445	0.00341
HD 191849	-8.39485	-0.00047	-0.00335
HD 209100 Sys	-8.39779	-0.00098	-0.00269
HD 217987	-8.39867	0.00012	-0.00299
HD 225213	-8.39899	-0.00030	-0.00419
HD 239960	-8.40101	0.00384	-1.98589
HH And	-8.40103	0.00284	-0.00092
HIP 67593	-8.39863	0.00056	0.00599
HN Lib	-8.39523	-0.00049	0.00403
HR 4375	-8.40257	-0.00069	0.00702
HR 8832	-8.40222	0.00613	-0.00037

**Tabelle C1.2 (Fortsetzung):** Erwartungswerte der Echtzeitpositionen der Schwerpunkte der Systeme der Samples A & B

System	x-Position in kpc	y-Position in kpc	z-Position in kpc
IL Aqr	-8.39853	0.00188	-0.00406
IRAS 17122-2632+	-8.39412	-0.00017	0.00070
Kapteyn's Stern	-8.40106	-0.00299	-0.00230
ksi Boo	-8.39705	0.00126	0.00587
KX Lib Sys	-8.39546	-0.00181	0.00314
LAL 21185	-8.40105	-0.00009	0.00231
LDS 6334	-8.39552	0.00382	-0.00034
LHS 2	-8.40008	0.00175	-0.00427
LHS 19	-8.40111	-0.00318	-0.00501
LHS 38 Sys	-8.40214	0.00044	0.00430
LHS 121	-8.40208	0.00339	-0.00627
LHS 146	-8.40103	0.00013	-0.00350
LHS 352	-8.39779	-0.00112	0.00718
LHS 447	-8.39346	0.00301	0.00262
LHS 486	-8.39487	0.00047	-0.00309
LHS 533	-8.39973	0.00534	-0.00420
LHS 1723	-8.40420	-0.00209	-0.00244
LHS 1879	-8.40534	-0.00027	0.00145
LHS 2272	-8.40205	-0.00429	0.00508
LHS 2459	-8.40251	0.00335	0.00326
LHS 3558	-8.40132	0.00754	0.00206
LHS 3595	-8.40104	0.00681	0.00135
LHS 6193	-8.40229	-0.00169	0.00594
LUY 726	-8.40065	0.00005	-0.00256
PMSC 02307+0626	-8.40464	0.00138	-0.00530
PMSC 04107-0748	-8.40367	-0.00139	-0.00307
PMSC 14328-6025	-8.39906	-0.00092	-1.80083
Procyon AB	-8.40284	-0.00189	0.00079
QY Aur	-8.40597	0.00011	0.00216
sig Dra	-8.40105	0.00523	0.00214
Sirius AB	-8.40176	-0.00191	-0.00041
STF 2398 AB	-8.39996	0.00319	0.00144
STN 2051	-8.40466	0.00290	0.00070
TW PsA	-8.39686	0.00090	-0.00689
V577 Mon	-8.40346	-0.00224	-0.00045
V1216 Sgr	-8.39713	0.00057	-0.00053
V1352 Ori	-8.40565	-0.00138	-0.00094
V2306 Oph	-8.39606	0.00023	0.00173
V2391 Oph	-8.39570	0.00247	0.00100
Van Maanen's Stern	-8.40118	0.00190	-0.00351
Vega	-8.39723	0.00668	0.00252
VX Ari	-8.40578	0.00298	-0.00387
YZ Cet	-8.40063	0.00037	-0.00367
YZ CMi	-8.40472	-0.00341	0.00140
<i>Sample B</i>			
CN Leo	-8.40059	-0.00120	0.00199
DG CVn	-8.39917	0.00095	0.00784
GJ 102	-8.40594	0.00335	-0.00433
GJ 674	-8.39568	-0.00132	-0.00054
GJ 687	-8.40058	0.00381	0.00240
GJ 2005	-8.39932	0.00041	-0.00765
GJ 2097	-8.39928	-0.00037	0.00636
GL Vir	-8.39979	-0.00200	0.00628

**Tabelle C1.3 (Fortsetzung):** Erwartungswerte der Echtzeitpositionen der Schwerpunkte der Systeme der Samples A & B

System	x-Position in kpc	y-Position in kpc	z-Position in kpc
HD 165222	-8.39301	0.00324	0.00120
LHS 35	-8.40523	-0.00355	0.00254
LHS 451	-8.39508	-0.00123	-0.00059
LHS 3685	-8.39663	-0.00064	-0.00359
PMSC 19506+4410	-8.39913	0.00442	0.00067

**Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich diese Bachelorarbeit selbst verfasst habe und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel bei der Erstellung verwendet wurden.

S. Eiche

Erlangen, den 14.03.2014