

**Seminar/Übung**

**Ü3**

**Lösung Ü-Aufgabenserie 1**

# Seminar/Übung

01. 16.10.23 ..... Vorbesprechung / briefing
02. 23.10.23 ..... Einige astronomische Grundlagen
03. 30.10.23 ..... Besprechung der 1. Aufgabenserie (K.S.)
04. 06.11.23 ..... Besprechung der 2. Aufgabenserie (K.S.)
05. 13.11.23 ..... Besprechung der 3. Aufgabenserie (K.S.)
06. 20.11.23 ..... Besprechung der 4. Aufgabenserie (K.S.)
07. 27.11.23 ..... Besprechung der 5. Aufgabenserie (K.S.)
08. 04.12.23 ..... Besprechung der 6. Aufgabenserie (S.K.)
09. 11.12.23 ..... F.Stündel: Solar flares (K.S., ...)
10. 18.12.23 ..... Laborbesichtigung (A.P.)
11. 08.01.24 ..... V.Prange: Sternentwicklung (K.S., ...)
12. 15.01.24 ..... M.Görlach: AGN (K.S., ...)
13. 22.01.24 ..... Demo: HI-Messung – AIU (K.S.)
14. 29.01.24 ..... Klausurvorbereitung (A.P.,S.K.,K.S.)
15. 05.02.24 ..... Klausur

K.S. = Katharina Schreyer  
S.K. = Sergiy Krasnokutskiy  
A.P. = Alexey Potapov

# Übungen zur Vorlesung: Das Milchstraßensystem

## –WS 23/24, Übungsserie (1) –

Ausgabe: 16.10.23

Abgabe der Übungsserie : 23.10.23

Besprechung im Seminar: 30.10.23

1. Die Parallaxe von Sirius beträgt  $\pi = 0.38''$ . Übertragen Sie unter der Annahme, dass die Entfernung von Sirius tatsächlich einer Siriusweite entspricht, die von Herschel ermittelten Abmessungen des Milchstraßensystems in unser Entfernungsmaß! Diskutieren Sie das Ergebnis!
2. Die Umlaufgeschwindigkeit der Sonne um das Zentrum des Milchstraßensystems beträgt 250 km/s. Der Zentrumsabstand werde mit  $R = 8.1$  kpc angenommen.
  - a) Berechnen Sie die Masse innerhalb der Bahn der Sonne unter der Annahme reiner Keplerbewegung!
  - b) Wie groß ist die Entweichgeschwindigkeit am Ort der Sonne?
  - c) Wie oft hat das Sonnensystem seit seiner Entstehung vor ca. 4 Mia. Jahren das galaktische Zentrum umrundet?
  - d) In welchem Erdzeitalter waren wir das letzte Mal an unserer „jetzigen“ Position?
  - e) Wieviele Umläufe hat der Ort der Sonne seit der Entstehung der Milchstraße vor ca. 13,6 Milliarden Jahren vollführt?

1. Die Parallaxe von Sirius beträgt  $\pi = 0.38''$ . Übertragen Sie unter der Annahme, dass die Entfernung von Sirius tatsächlich einer Siriusweite entspricht, die von Herschel ermittelten Abmessungen des Milchstraßensystems in unser Entfernungsmaß! Diskutieren Sie das Ergebnis!

$$\text{Siriusweite } d [\text{pc}] = 1 / \pi = 1 / 0,38'' = \underline{2,63 \text{ pc}} \quad \times 3,2 = 8,42 \text{ Lj} = 548 \text{ 245 AE} \quad \textcircled{1}$$

Ausdehnung der Galaxie nach Herschel: 1000 x 100 Siriusweiten

$$\underline{2630 \text{ pc} \times 263 \text{ pc}} \quad \textcircled{1}$$

2. Die Umlaufgeschwindigkeit der Sonne um das Zentrum des Milchstraßensystems beträgt 250 km/s. Der Zentrumsabstand werde mit  $R = 8.1$  kpc angenommen.

a) Berechnen Sie die Masse innerhalb der Bahn der Sonne unter der Annahme reiner Keplerbewegung!

a) geg.  $v_0 = 250 \text{ km/s}$   $R_0 = 8.1 \text{ kpc} = 8100 \text{ pc} \times 3,086 \times 10^{16} = 2,5 \times 10^{20} \text{ m} = 2,5 \times 10^{17} \text{ km}$

$$\begin{aligned} \text{Umlaufperiode } T (= \text{Galaktisches Jahr}) &= \frac{2\pi R_0}{v_0} = \frac{2\pi \times 2,5 \times 10^{17} \text{ km}}{250 \text{ km/s}} = \frac{1,57 \times 10^{18} \text{ km}}{250 \text{ km/s}} = \frac{1,57 \times 10^{21} \text{ m}}{250 \text{ km/s}} \\ &= 6,283 \times 10^{15} \text{ Sekunden} \\ &\quad : 365 : 24 : 3600 \\ &= 199\,238\,499 \text{ Jahre} = \underline{200 \times 10^6 \text{ a}} \\ &\text{(für } v_{\odot} = 220 \text{ km/s: } 226 \text{ Mio a)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kepler: } T^2 &= \frac{4\pi^2}{GM} a^3 \quad \Rightarrow \quad M = \frac{4\pi^2}{G} \frac{a^3}{T^2} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}^2} \frac{\text{s}^2 \text{ kg}}{\text{m}^3} \right) \\ M &= \frac{4\pi^2 \times (2,5 \times 10^{20} \text{ m})^3}{6,6 \times 10^{-11} \times (6,283 \times 10^{15} \text{ s})^2} / 2 \times 10^{30} \text{ kg} = \underline{1,184 \cdot 10^{11} \text{ Mo}} \quad (1,0 \times 10^{11} \text{ Mo}) \\ &\quad \text{liegen innerhalb} \\ &\quad \text{der Sonnenbahn} \end{aligned}$$

2. Die Umlaufgeschwindigkeit der Sonne um das Zentrum des Milchstraßensystems beträgt 250 km/s. Der Zentrumsabstand werde mit  $R = 8.1$  kpc angenommen.

a) Berechnen Sie die Masse innerhalb der Bahn der Sonne unter der Annahme reiner Keplerbewegung!

b) Wie groß ist die Entweichgeschwindigkeit am Ort der Sonne?

b) Um Bahn verlassen zu können, muss  $\odot$  eine  $E_{\text{kin}}$  haben, welche größer (im Grenzfall gleich) der  $E_{\text{pot}}$  des Gravitationsfeldes ist.

Für Fluchtgeschwindigkeit gilt:

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{GMm}{r} \quad G = 6,6e11 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}^2 \text{ kg}} \right)$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \times 6,6e-11 \times 1,2 \cdot 10^{11} \text{ Mo}}{2,5e20 \text{ m}}} = \sqrt{\frac{2 \times 6,6e-11 \times 2,36756E+41 \text{ kg}}{2,5e20 \text{ m}}}$$

$$v = 353563,8181 \text{ m/s} = \underline{\underline{350 \text{ km/s}}}$$

Vergleich:  $v_0 = 250 \text{ km/s}$

Bemerkung: In „Fahrtrichtung“ der Sonne ( $l = 90^\circ$ ) ist kein Stern bekannt mit  $v > 100 \text{ km/s}$  gegenüber der Sonne.

2. Die Umlaufgeschwindigkeit der Sonne um das Zentrum des Milchstraßensystems beträgt 250 km/s. Der Zentrumsabstand werde mit  $R = 8.1$  kpc angenommen.

a) Berechnen Sie die Masse innerhalb der Bahn der Sonne unter der Annahme reiner Keplerbewegung!

b) Wie groß ist die Entweichgeschwindigkeit am Ort der Sonne?

c) Wie oft hat das Sonnensystem seit seiner Entstehung vor ca. 4 Mia. Jahren das galaktische Zentrum umrundet?

c)

Umlaufperiode  $T$  (= Galaktisches Jahr) =  $6,283e15$  Sekunden :  $365:24:3600 = 199\ 238\ 499$  Jahre =  $200e6$  a

Alter  $\odot$  - System:  $4e9$ a  $\Rightarrow$  Alter/Umlaufperiode =  $4e9/200e6 = 20$  mal (für  $v = 250$  km/s)  $\textcircled{1}$

$4e9/226e6 = 17$  mal (für  $v = 220$  km/s)

2. Die Umlaufgeschwindigkeit der Sonne 250 km/s. Der Zentrumsabstand wer

a) Berechnen Sie die Masse innerhalb der Erdbewegung!

b) Wie groß ist die Entweichgeschwindigkeit?

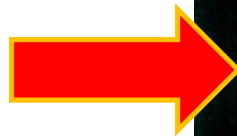
c) Wie oft hat das Sonnensystem seit der Entstehung des terrestrischen Lebens das Zentrum umrundet?

d) In welchem Erdzeitalter waren wir?

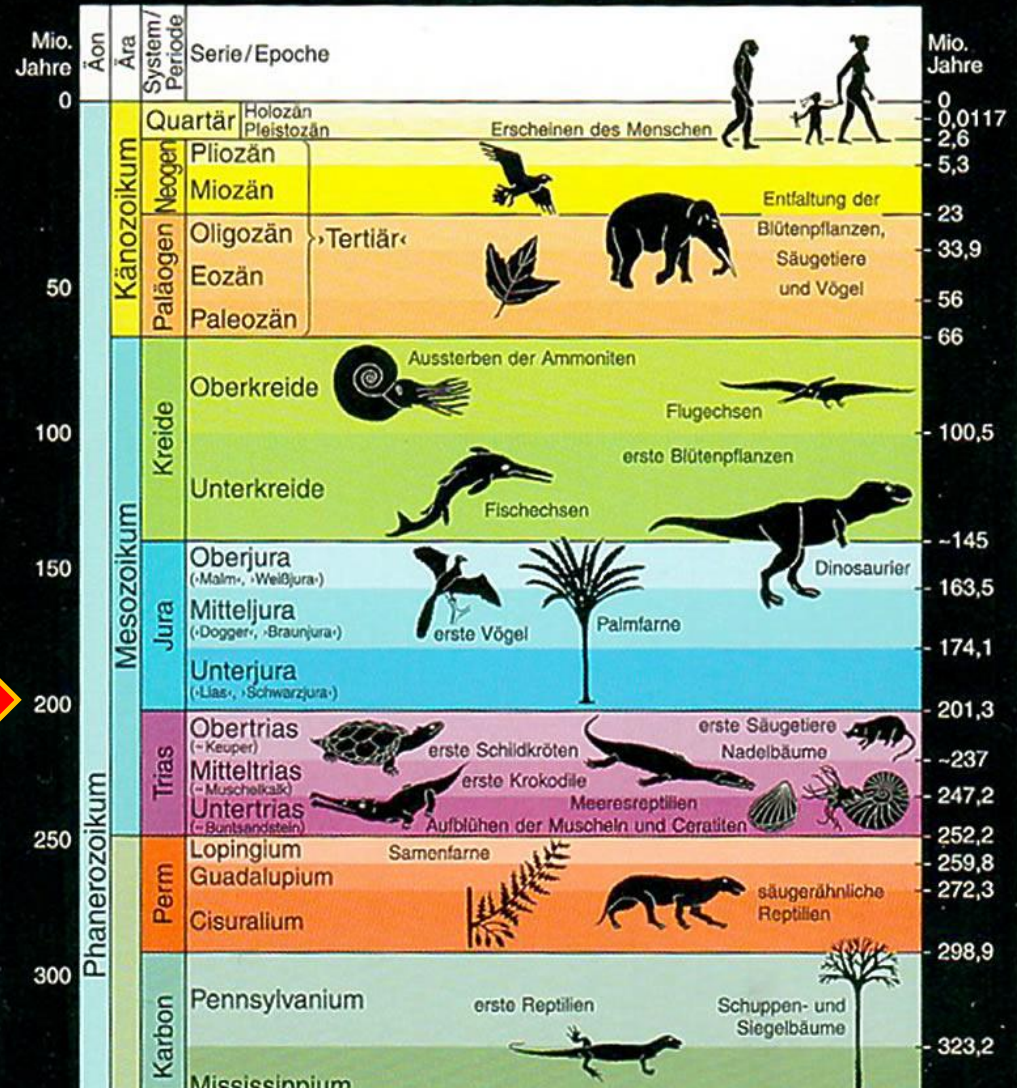
d)

Ende Trias / Anfang Jura

1



## Die Erdzeitalter und die Entwicklung des Lebens





2. Die Umlaufgeschwindigkeit der Sonne ist ca. 250 km/s. Der Zentrumsabstand vom Sonne zum Erde ist ca. 150 Mio. km.
- Berechnen Sie die Masse innerhalb der Erdbahn (Erde + alle Planeten) unter der Annahme, dass die Sonne sich in einer kreisförmigen Umlaufbewegung bewegt!
  - Wie groß ist die Entweichgeschwindigkeit der Erde?
  - Wie oft hat das Sonnensystem sich um das galaktische Zentrum umrundet?
  - In welchem Erdzeitalter waren wir?

d)

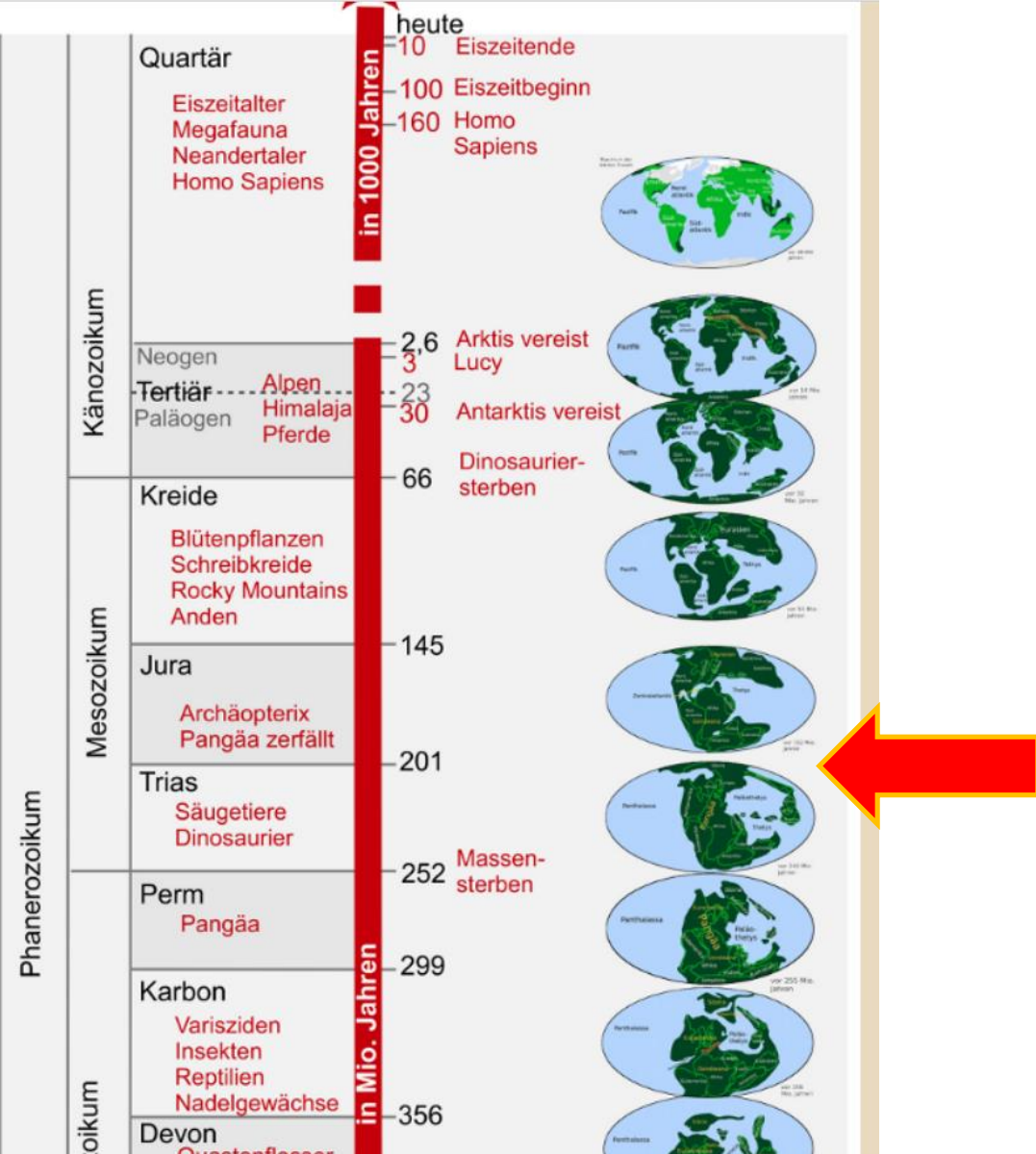
Ende Trias / Anfang Jura

Klima: warm & heiß

Europa lag im subtropischen  
Wüstengebiet

Weltweit eher trocken

Große zusammenhängende Landmassen  
Nordpol lag in Ostsibirien



2. Die Umlaufgeschwindigkeit der Sonne um das Zentrum des Milchstraßensystems beträgt 250 km/s. Der Zentrumsabstand werde mit  $R = 8.1 \text{ kpc}$  angenommen.

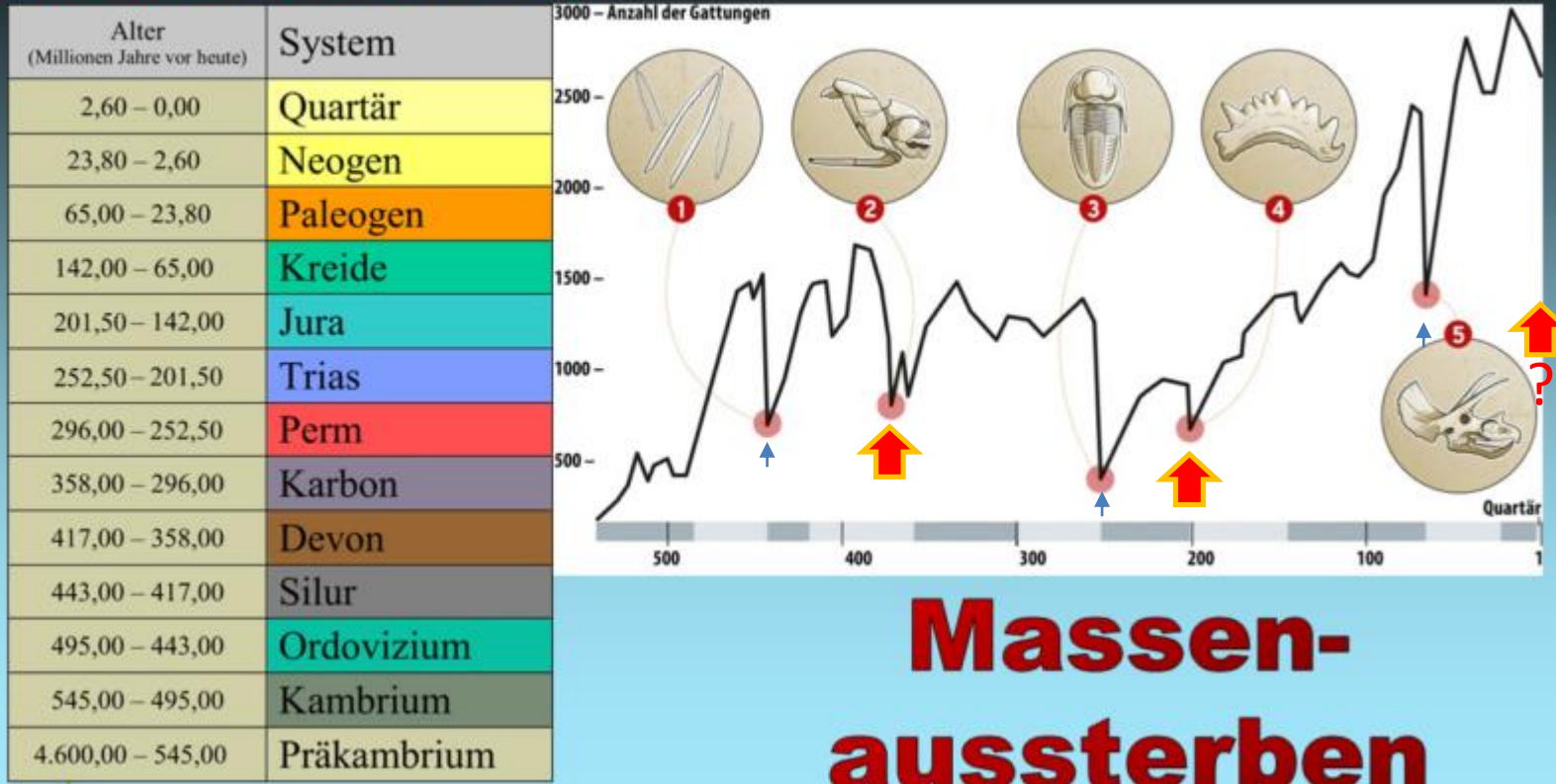
a) Berechnen Sie die Masse innerhalb der Bahn der Sonne unter der Annahme reiner Keplerbewegung!

b) Wie groß ist die Entweichgeschwindigkeit am Ort der Sonne?

c)

# Erdzeitalter

d)



d)

Ende Trias

Klima: w

Europa l

W

Weltwei

Große z

Nordpol

2. Die Umlaufgeschwindigkeit der Sonne um das Zentrum des Milchstraßensystems beträgt 250 km/s. Der Zentrumsabstand werde mit  $R = 8.1$  kpc angenommen.
- Berechnen Sie die Masse innerhalb der Bahn der Sonne unter der Annahme reiner Keplerbewegung!
  - Wie groß ist die Entweichgeschwindigkeit am Ort der Sonne?
  - Wie oft hat das Sonnensystem seit seiner Entstehung vor ca. 4 Mia. Jahren das galaktische Zentrum umrundet?
  - In welchem Erdzeitalter waren wir das letzte Mal an unserer „jetzigen“ Position?
  - Wieviele Umläufe hat der Ort der Sonne seit der Entstehung der Milchstraße vor ca. 13,6 Milliarden Jahren vollführt?

e)

Umlaufperiode  $T$  (= Galaktisches Jahr) =  $6,283 \times 10^{15}$  Sekunden  $: 365 : 24 : 3600 = 199\,238\,499$  Jahre =  $200 \times 10^6$  a

Alter MS - System:  $4 \times 10^9$  a  $\Rightarrow$  Alter/Umlaufperiode =  $13,6 \times 10^9 / 200 \times 10^6 = 68$  mal (für  $v = 250$  km/s)

1

Fazit: die Milchstraße hat sich schon ca. 28 ohne uns gedreht, bevor wir entstanden sind

3. Ermitteln Sie aus den in der Tabelle gegebenen galaktischen Koordinaten und den Sonnenentfernungen das Zentrum der räumlichen Verteilung der aufgeführten hellen Kugelsternhaufen!

Objekt	Gal. Länge $l$ [°]	Gal. Breite $b$ [°]	Entfernung $r$ [kpc]
47 Tuc	306	-45	5.1
$\omega$ Cen	309	+15	5
M3	42	+79	12.0
M5	4	+47	8.5
M13	59	+41	7.6
M70	2	-13	20.0
M54	5	-15	22.0
M15	65	-27	14

Mittelwerte

99°

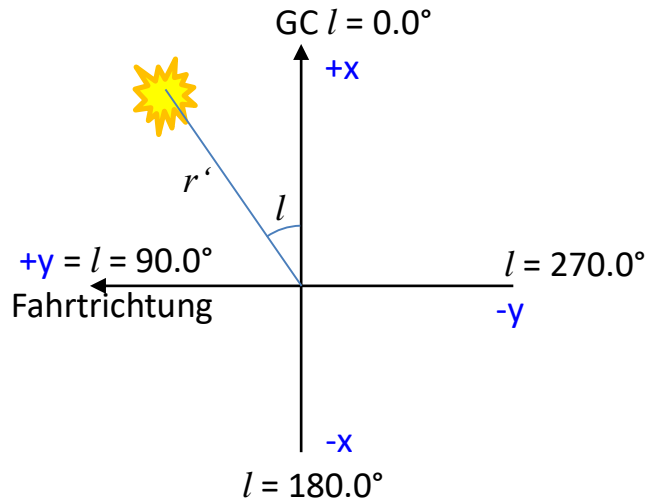
10.25°

11,8kpc

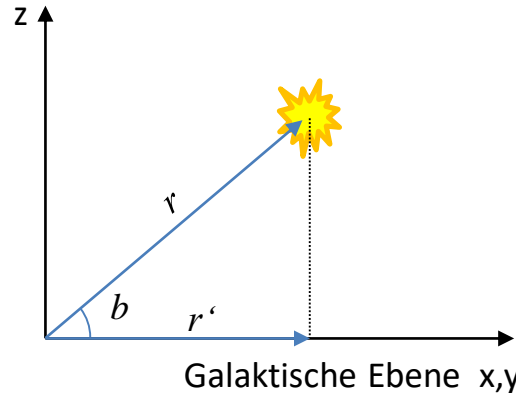


3. Ermitteln Sie aus den in der Tabelle gegebenen galaktischen Koordinaten und den Sonnenentfernungen das Zentrum der räumlichen Verteilung der aufgeführten hellen Kugelsternhaufen!

Objekt	Gal. Länge $l$ [°]	Gal. Breite $b$ [°]	Entfernung $r$ [kpc]
47 Tuc	306	-45	5.1
$\omega$ Cen	309	+15	5
M3	42	+79	12.0
M5	4	+47	8.5
M13	59	+41	7.6
M70	2	-13	20.0
M54	5	-15	22.0
M15	65	-27	14



Galaktischer Nordpol



Koordinatentransformationen:

$$r' = r \cos b \quad \textcircled{1}$$

$$x = r' \cdot \cos l = r \cdot \cos b \cdot \cos l$$

$$y = r' \cdot \sin l = r \cdot \cos b \cdot \sin l$$

$$z = r' \cdot \sin b$$

3. Ermitteln Sie aus den in der Tabelle gegebenen galaktischen Koordinaten und den Sonnenentfernungen das Zentrum der räumlichen Verteilung der aufgeführten hellen Kugelsternhaufen!

Objekt	Gal. Länge $l$ [°]	Gal. Breite $b$ [°]	Entfernung $r$ [kpc]
47 Tuc	306	-45	5.1
$\omega$ Cen	309	+15	5
M3	42	+79	12.0
M5	4	+47	8.5
M13	59	+41	7.6
M70	2	-13	20.0
M54	5	-15	22.0
M15	65	-27	14

Koordinatentransformationen:

Zu tun:

- 1)  $x, y, z$  für jeden KSH (jedes Objekt) berechnen  $r' = r \cos b$
- 2) Mittelung über alle  $x, y, z$
- 3) Rücktransformation  $x, y, z$ , in  $r_{\text{center}}, l_{\text{center}}, b_{\text{center}}$ 

$$x = r' \cdot \cos l = r \cdot \cos b \cdot \cos l$$

$$y = r' \cdot \sin l = r \cdot \cos b \cdot \sin l$$
- 4) Vergleich mit Realität
 
$$z = r' \cdot \sin b$$

3. Ermitteln Sie aus den in der Tabelle gegebenen galaktischen Koordinaten und den Sonnenentfernungen das Zentrum der räumlichen Verteilung der aufgeführten hellen Kugelsternhaufen!

Objekt	Gal. Länge $l$ [°]	Gal. Breite $b$ [°]	Entfernung $r$ [kpc]
47 Tuc	306	-45	5.1
$\omega$ Cen	309	+15	5
M3	42	+79	12.0
M5	4	+47	8.5
M13	59	+41	7.6
M70	2	-13	20.0
M54	5	-15	22.0
M15	65	-27	14

martin@elen:~/vv/uebungen - Shell - Konsole

Session Edit View Bookmarks Settings Help

	! xx[kpc]	yy[kpc]	zz[kpc]	
Objekt				
47 Tuc	2.1196966171265	-2.9175133705139	-3.6062445640564	
$\omega$ Cen	3.0393838882446	-3.7533268928528	1.2940952777863	
M3	1.7015841007233	1.5321131944656	11.77952671051	
M5	5.7828650474548	0.40437731146812	6.2165064811707	
M13	2.9541516304016	4.916533946991	4.9860486984253	
M70	19.47553062439	0.68010050058365	-4.4990210533142	
M54	21.169504165649	1.852091550827	-5.694019317627	
M15	5.2717785835266	11.305366516113	-6.3558673858643	
Mittelwerte	7.689311504364	1.7524678707123	0.51512813568115	
	+x = in Richtung GC	+y = in Fahrtrichtung	+z = in Richtung Gal. Nordpol	

Koordinatentransformationen:

$$r' = r \cos b$$

$$xx = r' \cdot \cos l = r \cdot \cos b \cdot \cos l$$

$$yy = r' \cdot \sin l = r \cdot \cos b \cdot \sin l$$

$$zz = r' \cdot \sin b$$





Rück-Transformationen:

$$r_{\text{center}} = r_c = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2 + \bar{z}^2}$$

$$b_{\text{center}} = b_c = \text{asin} \left( \frac{\bar{z}}{r_c} \right)$$

$$l_{\text{center}} = l_c = \text{asin} \left( \frac{\bar{z}}{r_c \cos b} \right)$$

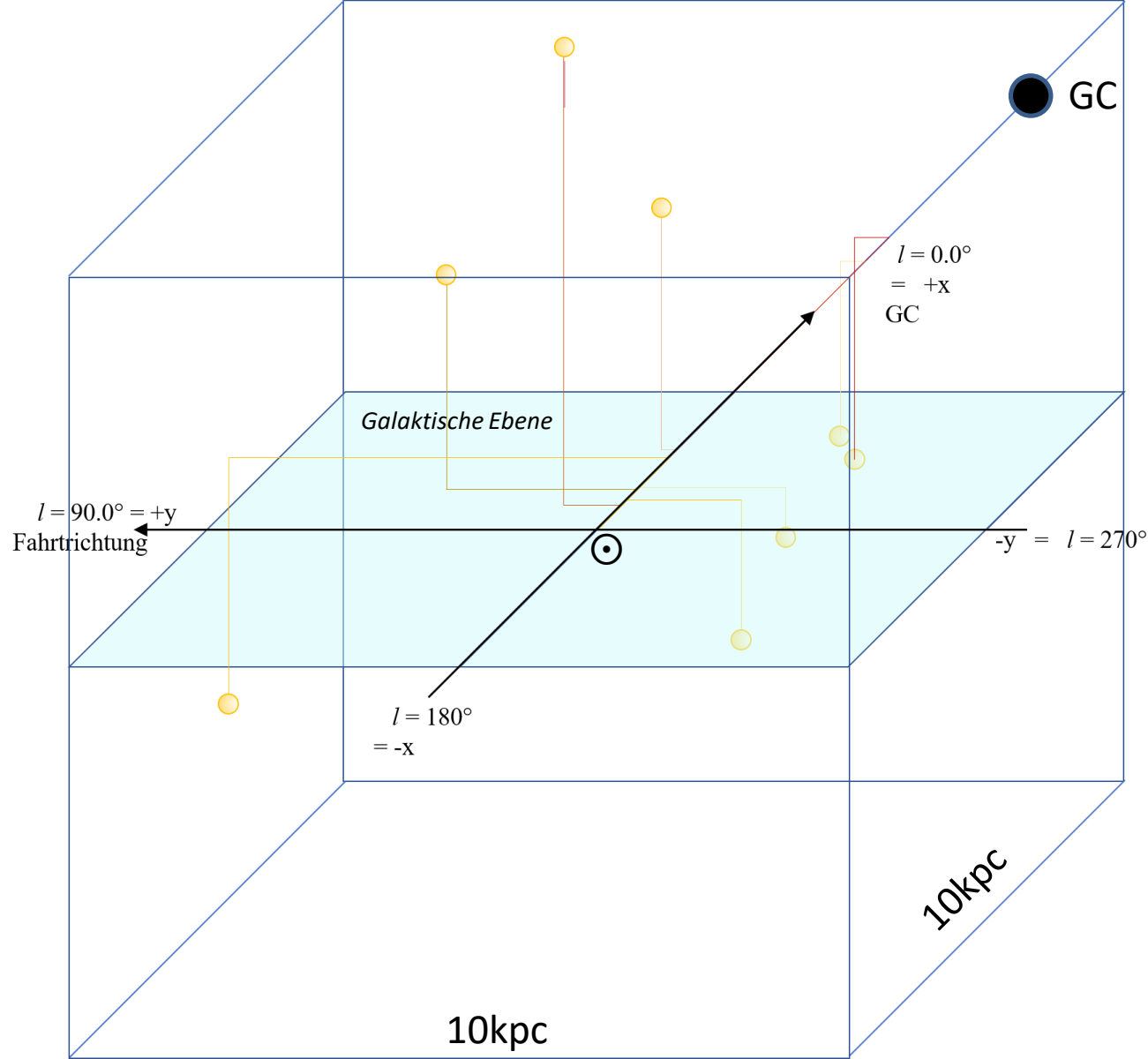
Erwartung

$r_c =$	RC	=	7.903291 kpc	=	<b>7,9 kpc</b>	! Real	LOCAL	1	<b>8,1 kpc</b>
$b_c =$	BC	=	3.737127 °	=	<b>3,7°</b>	! Real	LOCAL	1	<b>0°</b>
$l_c =$	LC	=	12.83896 °	=	<b>12,8°</b>	! Real	LOCAL	1	<b>0°</b>

MAPPING> █

Shell

1



Galaktische Breite in Grad

+50

0

+50

+100

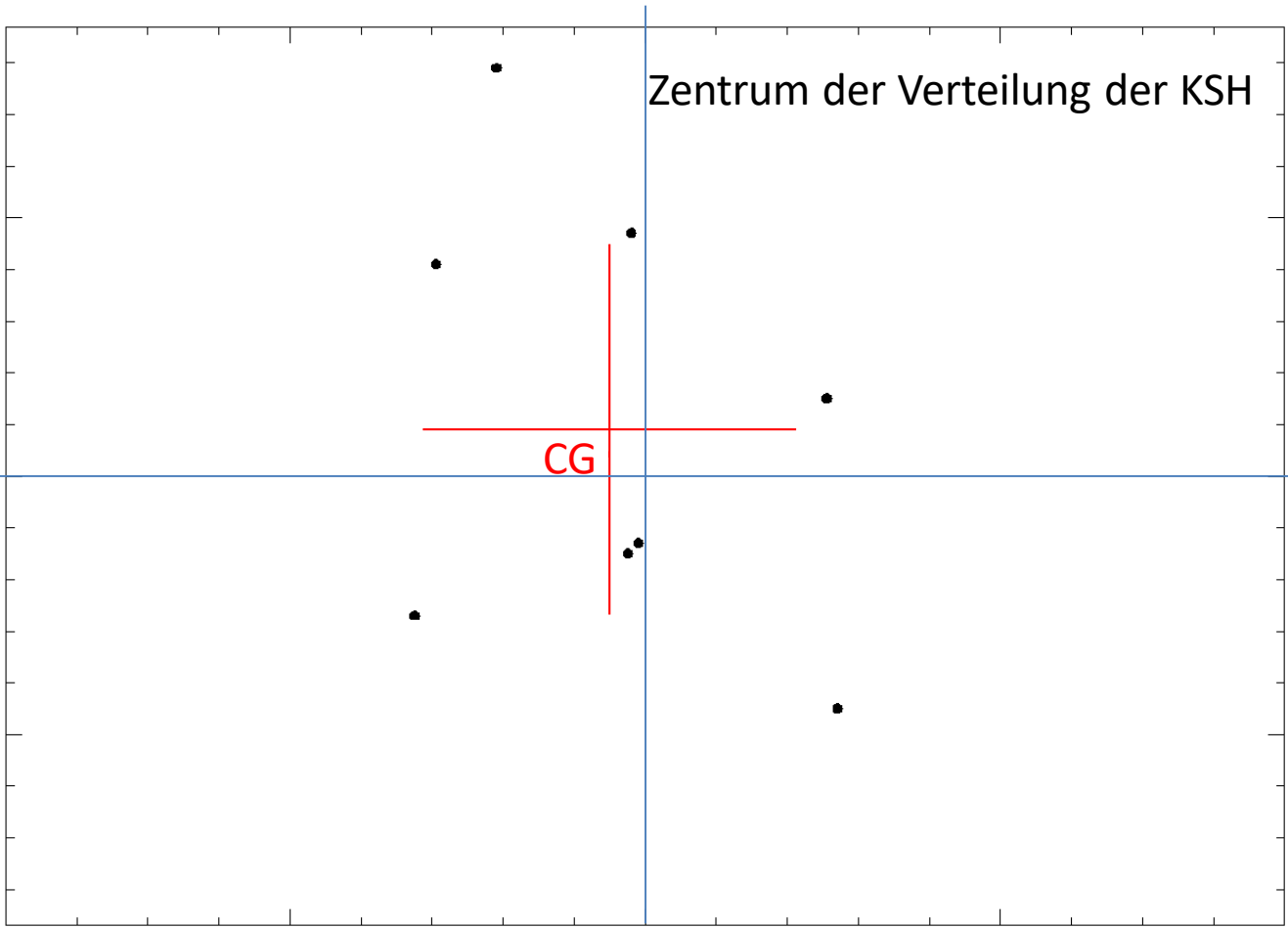
0

-100

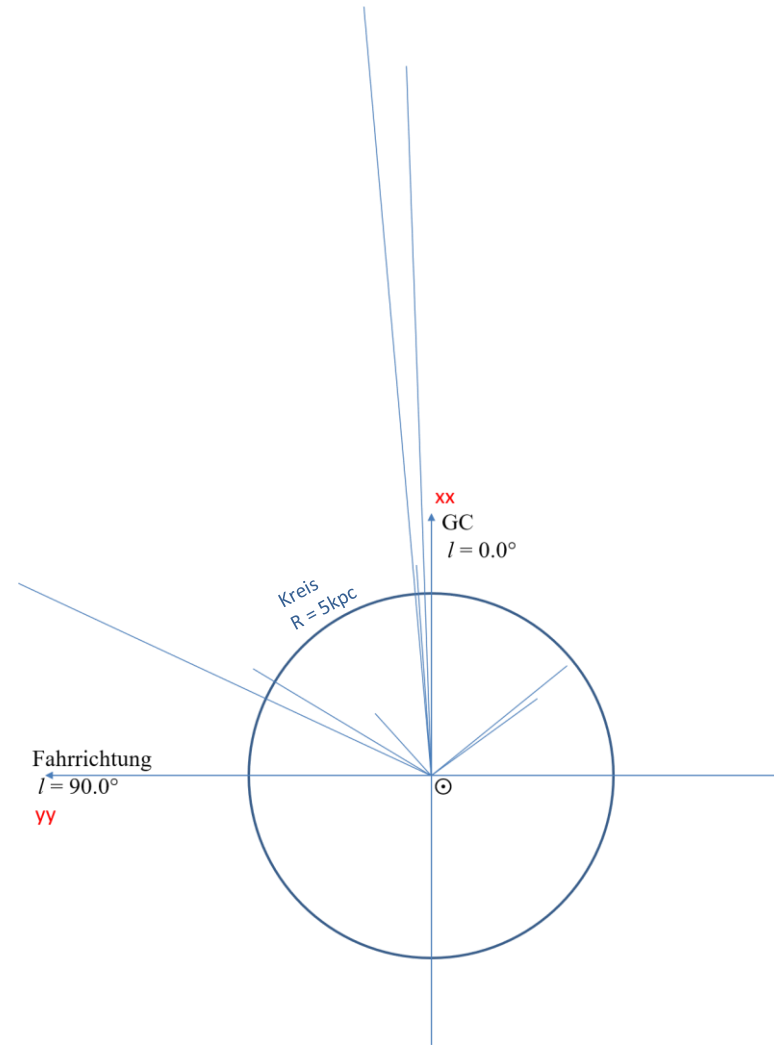
Galaktische Länge in Grad

Zentrum der Verteilung der KSH

CG



Blick vom  
Galaktischen  
Nordpol  
auf die  
Galaktische  
Ebene



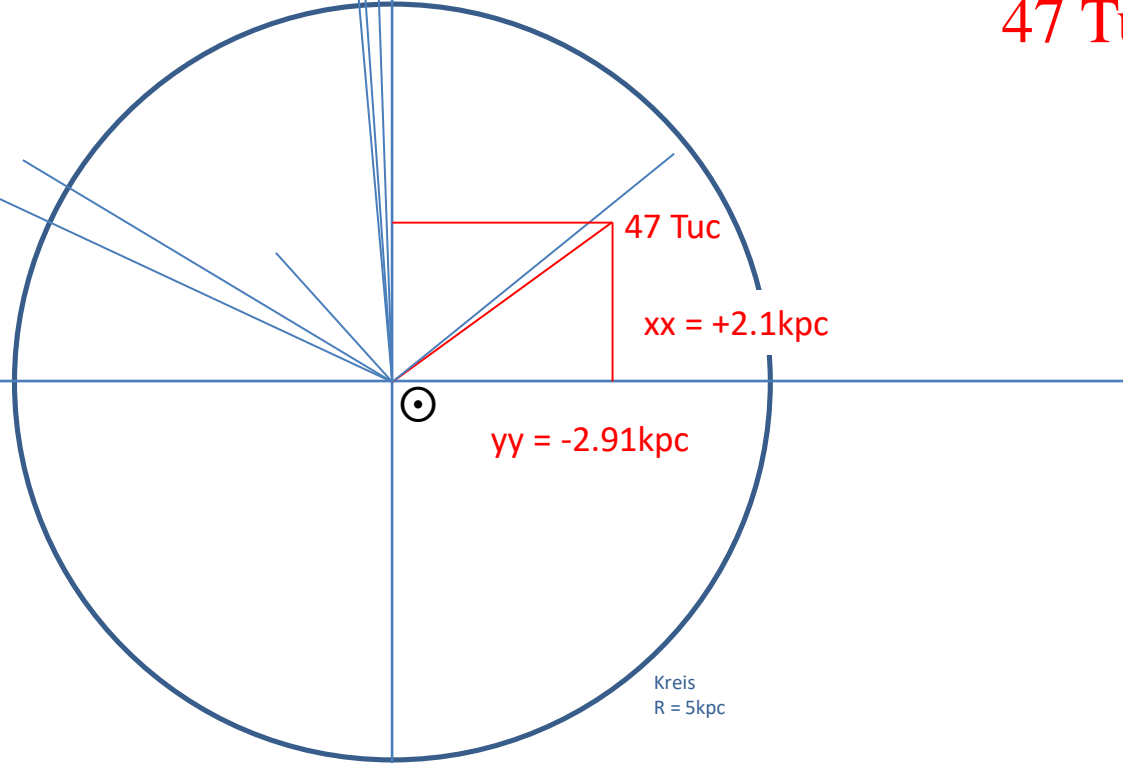
Zentrum der Verteilung der KSH,  
projiziert auf die galaktische Ebene  
(alle  $r'$ )

Blick vom  
Galaktischen  
Nordpol  
auf die Galaktische  
Ebene

Test für  
KSH  
47 Tuc

xx  
↑ GC  
 $l = 0.0^\circ$

Fahrerichtung  
←  $l = 90.0^\circ$   
yy

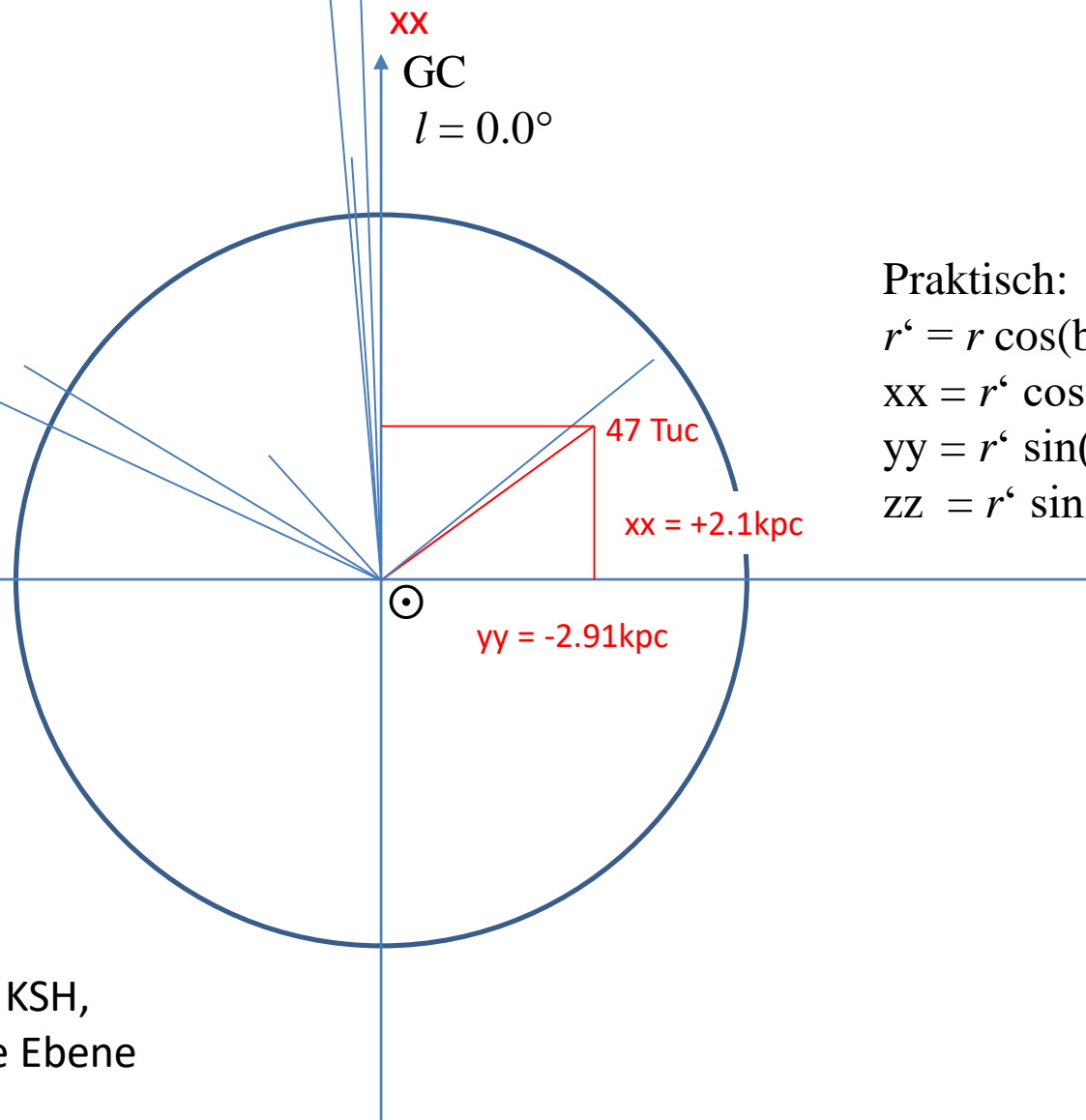


Zentrum der Verteilung der KSH,  
projiziert auf die galaktische Ebene  
(alle  $r'$ )

Blick vom  
Galaktischen  
Nordpol  
auf die  
Galaktische  
Ebene

Fahrrichtung  
 $l = 90.0^\circ$   
 $yy$

Zentrum der Verteilung der KSH,  
projiziert auf die galaktische Ebene  
(alle  $r'$ )

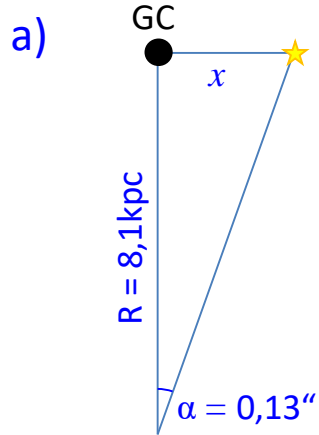


Praktisch:  
 $r' = r \cos(b)$   
 $xx = r' \cos(l)$   
 $yy = r' \sin(l)$   
 $zz = r' \sin(b)$

4. Mit spektroskopischen Methoden wurde in 0.13 Bogensekunden Winkelabstand vom Massezentrum unserer Galaxis eine Umlaufgeschwindigkeit der Sterne von 1300km/s gemessen.

a) Ermitteln Sie unter Annahme von Kreisbewegung den Betrag der eingeschlossenen (Punkt-)Masse! Wie lange dauert ein Orbit?

(= berühmter S2-Stern nahe des GC)



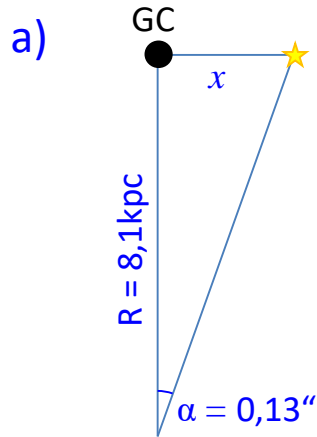
$$\begin{aligned} \text{Abstand vom Zentrum: } r_{\text{stern}} &= R \cdot \tan \alpha = 8100 \text{ pc} \times 3,086 \times 10^{16} \times \tan (0,13'') \\ &= 2,5 \times 10^{17} \text{ km} \times \tan (3,61 \times 10^{-5} \text{°}) \\ &= 1,6 \times 10^{11} \text{ km} = 0,0053 \text{ pc} = 1067 \text{ AE} \text{ (1)} \end{aligned}$$

$$1 \text{ AE} = 1 \text{ AU} = 150 \times 10^6 \text{ km} = 150 \times 10^9 \text{ m}$$

4. Mit spektroskopischen Methoden wurde in 0.13 Bogensekunden Winkelabstand vom Massezentrum unserer Galaxis eine Umlaufgeschwindigkeit der Sterne von 1300km/s gemessen.

a) Ermitteln Sie unter Annahme von Kreisbewegung den Betrag der eingeschlossenen (Punkt-)Masse! Wie lange dauert ein Orbit?

(= berühmter S2-Stern nahe des GC)



$$\begin{aligned} \text{Abstand vom Zentrum: } r_{\text{stern}} &= R \cdot \tan \alpha = 8100 \text{ pc} \times 3,086 \times 10^{16} \times \tan (0,13'') \\ &= 2,5 \times 10^{17} \text{ km} \times \tan (3,61 \times 10^{-5} \text{ }^\circ) \\ &= 1,6 \times 10^{11} \text{ km} = 0,0053 \text{ pc} = 1067 \text{ AE} \text{ (1)} \end{aligned}$$

Leider funktioniert für große  $R$  nicht:

$$r_{\text{stern}} = R \cdot \tan \alpha \approx R \cdot \alpha$$

$$R \cdot \tan \alpha = 2,5 \times 10^{17} \text{ km} \times \tan (3,61 \times 10^{-5} \text{ }^\circ) = 2,5 \times 10^{17} \text{ km} \times 6,3 \times 10^{-7} = 1067 \text{ AE}$$

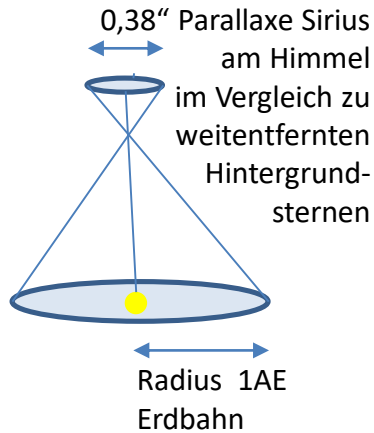
$$R \cdot \alpha = 2,5 \times 10^{17} \text{ km} \times 3,61 \times 10^{-5} = 9 \times 10^{12} \text{ km} = 60 \text{ 167 AE}$$

$$1 \text{ AE} = 1 \text{ AU} = 150 \times 10^6 \text{ km} = 150 \times 10^9 \text{ m}$$



## Frage: Warum funktioniert nicht $1/0,13''$ ... wie bei Aufgabe 1 ... ?

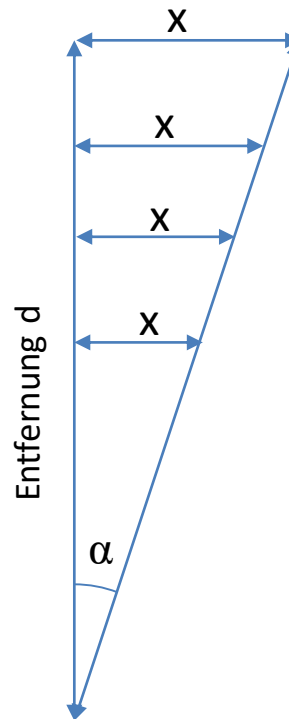
Bei Sirius wird der Verlauf der Erdbahn an den Himmel projiziert.



**Sternparallaxen sind messbar bis  $d = 1-2$  kpc!**

Jetzt:

Wir wollen die wahre Strecke/Länge  $x$  im Raumwinkel von  $0,13''$  in einer Entfernung von  $8100$  pc wissen (unabhängig von der Jahresbewegung der Erde).



**Merke:**

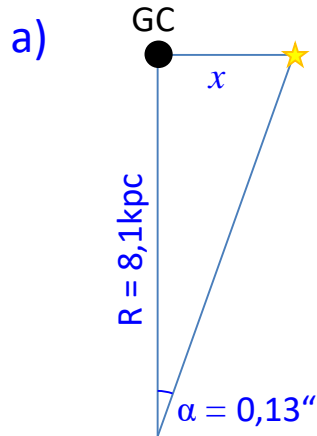
Der Raumwinkelbereich  $\alpha = 1''$  enthält in einer Entfernung  $d$  folgende wahre Raumstrecken  $x$ :

in $d =$	$x =$
1 pc	1 AE
100 pc	100 AE
1 000 pc	1 000 AE
10 000 pc	10 000 AE
1 000 000 pc	$10^6$ AE
$13,9 \cdot 10^9$ Lj $= 4,3 \cdot 10^9$ pc	$4,3 \cdot 10^9$ AE

4. Mit spektroskopischen Methoden wurde in 0.13 Bogensekunden Winkelabstand vom Massezentrum unserer Galaxis eine Umlaufgeschwindigkeit der Sterne von 1300km/s gemessen.

a) Ermitteln Sie unter Annahme von Kreisbewegung den Betrag der eingeschlossenen (Punkt-)Masse! Wie lange dauert ein Orbit?

(= berühmter S2-Stern nahe des GC)



$$\begin{aligned} \text{Abstand vom Zentrum: } r_{\text{stern}} &= R \cdot \tan \alpha = 8100 \text{ pc} \times 3,086 \times 10^{16} \times \tan(0,13'') \\ &= 2,5 \times 10^{17} \text{ km} \times \tan(3,61 \times 10^{-5} \text{ rad}) \\ &= 1,6 \times 10^{11} \text{ km} = 0,0053 \text{ pc} = 1067 \text{ AE} \quad (1) \end{aligned}$$

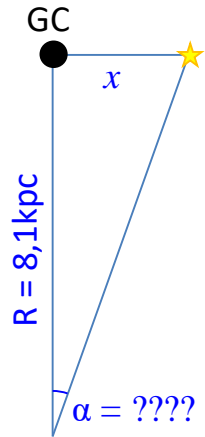
$$\text{Zeit für einen Umlauf: } t = \frac{2\pi r_{\text{stern}}}{1300 \text{ km/s}} = \frac{2\pi \times 1,6 \times 10^{11} \text{ km}}{1300 \text{ km/s}} = 7,7 \times 10^8 \text{ s} = 24,5 \text{ a} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Eingeschlossene Masse: } M &= \frac{4\pi^2 \times r^3}{G T^2} = \frac{4\pi^2 \times (1,6 \times 10^{11} \text{ km})^3}{6,6 \times 10^{-11} (7,7 \times 10^8 \text{ s})^2} \\ &= 4,03 \times 10^{27} \text{ kg} = 2 \times 10^6 M_{\odot} \quad (1) \end{aligned}$$

4. Mit spektroskopischen Methoden wurde in 0.13 Bogensekunden Winkelabstand vom Massezentrum unserer Galaxis eine Umlaufgeschwindigkeit der Sterne von 1300km/s gemessen.

- Ermitteln Sie unter Annahme von Kreisbewegung den Betrag der eingeschlossenen (Punkt-)Masse! Wie lange dauert ein Orbit?
- Welchem Wert der Eigenbewegung in Bogensekunden/Jahr entspricht eine solche Tangentialgeschwindigkeit?
- Diskutieren Sie die Möglichkeiten, diesen Eigenbewegungsbetrag zu messen!

b)



Strecke  $x$  (Winkel  $\alpha$ ["]) am Himmel ermitteln, die sich der Stern in einem Jahr bewegt:

$$x \text{ in km} = v \times t = 1300 \text{ km/s} \times 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s} = 4,1 \cdot 10^{10} \text{ km} = 0,0013 \text{ pc}$$

$$\sin \alpha = \tan \alpha = \frac{x}{R} = \frac{4,1 \cdot 10^{10} \text{ km}}{2,5 \cdot 10^{17} \text{ km}}$$

$$\alpha = \text{atan} \left( \frac{4,1 \cdot 10^{10} \text{ km}}{2,5 \cdot 10^{17} \text{ km}} \right) = \text{atan} (0,000000164)$$

$$\alpha = \underline{9,3965 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ} \times 3600 = \underline{0,038''} \quad \Rightarrow \quad \mu = 0,038''/\text{a} \quad \textcircled{1}$$

4. Mit spektroskopischen Methoden wurde in 0.13 Bogensekunden Winkelabstand vom Massezentrum unserer Galaxis eine Umlaufgeschwindigkeit der Sterne von 1300km/s gemessen.
- Ermitteln Sie unter Annahme von Kreisbewegung den Betrag der eingeschlossenen (Punkt-)Masse! Wie lange dauert ein Orbit?
  - Welchem Wert der Eigenbewegung in Bogensekunden/Jahr entspricht eine solche Tangentialgeschwindigkeit?
  - Diskutieren Sie die Möglichkeiten, diesen Eigenbewegungsbetrag zu messen!

c)  $\mu = 0,038''/a$

Fazit:

VLT 8m - typische Auflösung bei  $\lambda = 500 \text{ nm}$ :  $d = 0,015''$

$\Rightarrow$  in wenigen Jahren ist ein Orbit beobachtbar 1

im Infraroten:  $\lambda = 2,2 \mu\text{m}$  (Infrarot):  $d = 0,067''$

NACO H-Band 1.65m =  $0,05''$ ;  
( $0,013'' / \text{pix}$ )

James Webb 6,5m Auflösung =  $\lambda/\text{Durchmesser}$

$$= 550\text{nm} / 6,5\text{m} = 550\text{e-}9 \text{ m} / 6,5 \text{ m} = 8,46\text{e-}8 \text{ rad} = 0,017''$$

$$= 2,2\mu\text{m} / 6,5 \text{ m} = 0,07''$$