

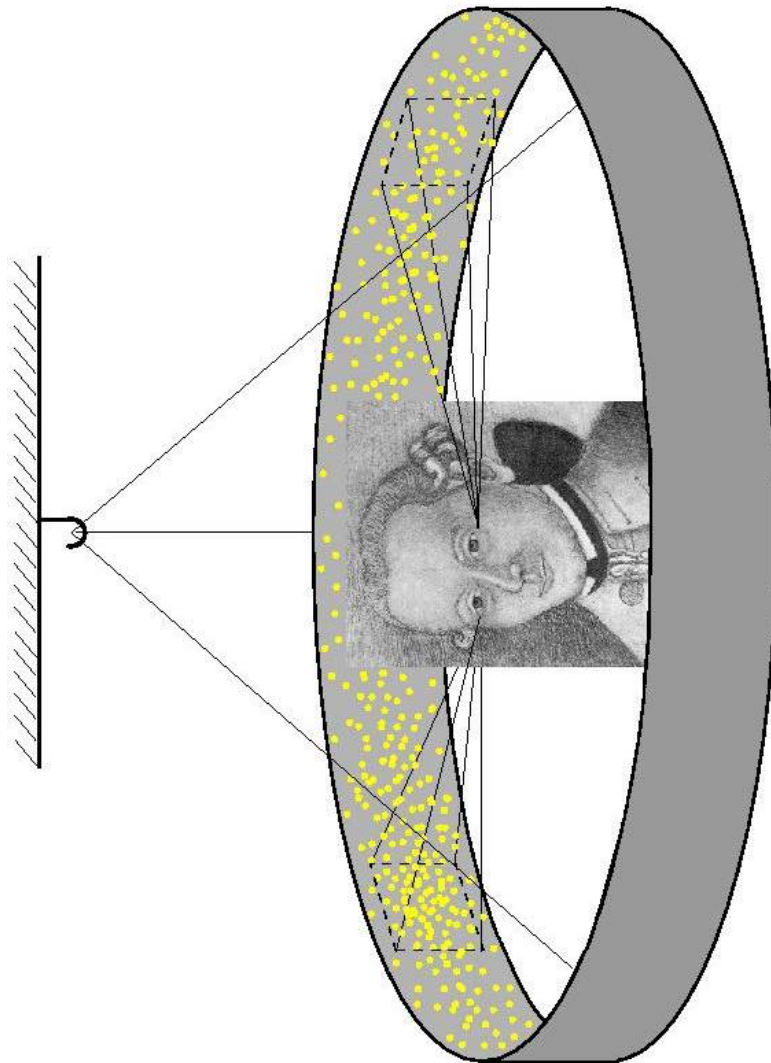
## **Modellvorstellungen vom Milchstraßensystem**

### **1. Erste Vorstellungen vom Milchstraßensystem (Wissenschaftsgeschichte)**

In seinem Buch „Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels“ (erschienen 1755 bei Petersen, Königsberg und Leipzig) schrieb Immanuel Kant:

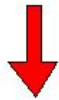
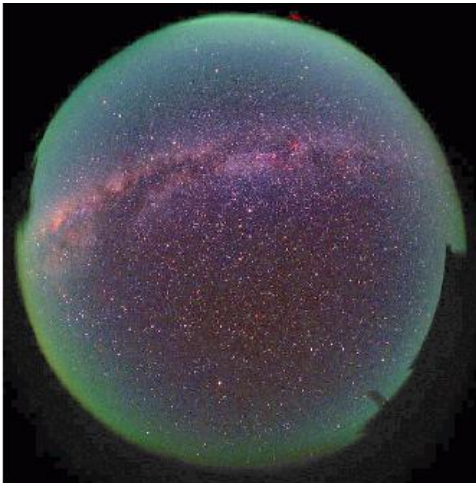
*„wird das Auge, welches sich in dieser Beziehungsfläche befindet, bey seiner Aussicht in das Feld der Gestirne, an der hohlen Kugelfläche des Firmaments, diese dichteste Häufung der Sterne in der Richtung solcher gezogenen Fläche unter der Gestalt einer von mehrerem Lichte erleuchteten Zone erblicken. Dieser lichte Streif wird nach der Richtung eines größten Zirkels fortgehen, weil der Stand des Zuschauers in der Fläche selber ist. In dieser Zone wird es von Sternen wimmeln, welche durch die nicht zu unterscheidende Kleinigkeit der Punkte eine Milchstraße vorstellig machen. Das übrige Himmelsheer, welches sich auch dem Stande des Beobachters näher befindet, wird mehr zerstreuet, wiewol doch, ihrer Häufung nach, auf eben diesen Plan beziehend gesehen werden.“*

Interpretieren Sie Kants Aussagen zur Milchstraße. Tun Sie es ihm gleich und fertigen Sie dazu auch eine kleine Skizze an!



## 2. Milchstraße und Milchstraßensystem in einer Analogiebetrachtung

Ausgangspunkt für den ersten Schritt zur Modellierung des Aussehens der Galaxis muss die Beobachtung des Milchstraßenbandes sein. Ein einfaches Analogiemodell hilft, die scheibenförmige Sternansammlung festzustellen. Kommentieren Sie die folgenden Bilder auch im Sinne einer Analogiebetrachtung!



Perspektivwechsel. Links: Vom Innenanblick der Galaxis zum Außenanblick einer ähnlichen Galaxie. Rechts: Analogiebetrachtung. Der Außenanblick eines Objekts gibt eine Vorstellung vom Aussehen des Objektes, welches man nur aus seinem Inneren heraus betrachten kann, wobei verschiedene Merkmale auf die Objektverwandtschaft schließen lassen.

### 3. Maßstabsmodell vom Milchstraßensystem

Das Milchstraßensystem hat in seinen Elementen folgende Dimensionen:

- Scheibendurchmesser: 100.000 Lj,
- Scheibendicke: 3000 Lj,
- Bulgedurchmesser 16.000 Lj,
- Halodurchmesser: 165.000 Lj.



(Bild aus Google Earth)

Man entwerfe ein Dimensionsmodell, um die Ausmaße der Galaxis zu veranschaulichen. Die Milchstraßenscheibe soll im Modell einen Durchmesser von 10 km haben, was gut in das Gebiet ihrer Heimatstadt oder ihres Heimatlandkreises passt (hier im Beispiel wurde Heidelberg gewählt). Als Grundlage für die weiteren Vergleiche diene eine Karte des von Ihnen genutzten Gebietes (hier Karte von Heidelberg).

Wie groß sind dann die angegebenen Dimensionen im Modell? Man suche für die Modellausmaße ansprechende Vergleiche (auch in der Höhe).

Nun lege man das Zentrum der Galaxis in einen markanten Punkt des Modellgebietes. An welchem anderen markanten Punkt liegt dann der Ort der Sonne? Welchen Abstand hat der äußerste Planet des Sonnensystems im Modell? Wie groß ist die Modellentfernung zum nächstgelegenen Stern? Wie weit ist es im Modell bis zur Andromedagalaxie (M31, repräsentiert in etwa das Ausmaß des als ‚Lokale Gruppe‘ bezeichneten Galaxien-haufens, zu dem auch das Milchstraßensystem gehört), zur Galaxie M87 (Zentrum des Superhaufens, zu dem die Lokale Gruppe gehört) und zu den fernsten beobachtbaren Objekten im Kosmos (Quasare, 12 Mrd. Lj)?

Maßstab: 10 km  $\rightarrow$  100.000 Lj,

1 AE  $\approx$   $150 \cdot 10^9$  m, 1 Lj =  $9,4605 \cdot 10^{15}$  m, also: 1 Lj = 63070 AE

1 Lj  $\rightarrow$  10 cm

1 AE  $\rightarrow$  ca. 1,6  $\mu$ m

- Dicke der Scheibe beträgt im Modell 300 m (150m Schwankung um Ebene),
- Durchmesser des Bulges im Modell: 1,6 km, das wäre 800m hoher Berg über der Ebene,
- Abstand der Sonne zum Zentrum des MSS (ca. 25.000 Lj) im Modell: ca. 2,5 km,
- Durchmesser der Neptunbahn (ca. 60 AE) im Modell: ca. 0,1 mm,
- Modellentfernung zum Stern Proxima Centauri (4,24 Lj, 270.000 AE): 42,4 cm,
- Modellentfernung zu M31 (2,2 Mio Lichtjahre): 220 km (das wäre etwa bis Köln)
- Modellentfernung zu M87 (70 Mio Lichtjahre): ca. 7000 km (also etwa bis Cincinnati/Ohio/USA)
- Abstand zu einem Quasar (12 Mio Lichtjahre) im Modell: 1,2 Mio km (ca. 3,5facher Mondabstand)
- Planetensystem mit einem Durchmesser von 40 AE im Modell einen Durchmesser von ... (ca. 0,15 mm)

#### 4. Analogiemodell zum Sterneninhalt des Milchstraßensystems



Die Sonne sei durch ein Sandkorn mit einem Radius von  $R=0,5$  mm (Dichte  $\rho=1,6$  g/cm<sup>3</sup>) repräsentiert. Nun lege man gedanklich so viele Sandkörner aneinander, wie Sterne im Milchstraßensystem vereint sind. Welche Länge  $l$  hat die „Sandkornkolonne“?

Nimmt man an, das das Milchstraßensystem ca. 200 Mrd Sterne enthält, so ergibt sich  $l = 200 \cdot 10^9 \cdot 2R \approx 200.000$  km.

Man kann all diese Sandkörner auch aufschichten. Welche Masse  $m$  hat dieser Sandhaufen?

$$m = 200 \cdot 10^9 \cdot V \cdot \rho = 200 \cdot 10^9 \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot R^3 \cdot \rho$$

$$m = 200 \cdot 10^9 \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot (0,5 \cdot 10^{-3} \text{ m})^3 \cdot 1600 \text{ kg/m}^3$$

$$m \approx 170 \text{ t} .$$

Wie groß wäre dieser Sandhaufen (Höhe  $h$  und Durchmesser  $d$ ), wenn man annimmt, dass er einen Kreiskegel mit einem Neigungswinkel von 45° bildet, in dem Sandkörner so aneinander liegen, dass zwischen ihnen etwa 30 Volumenprozent Luft enthalten sind?

70 Volumenprozent des Kreiskegelvolumens werden durch die Sandkörner ausgefüllt:

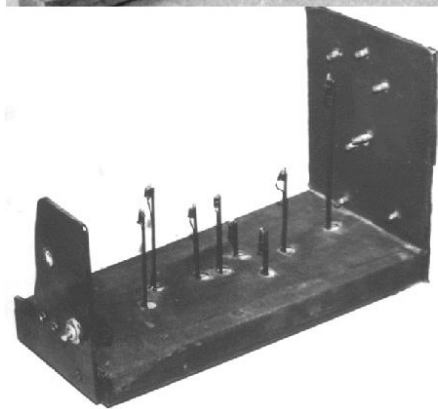
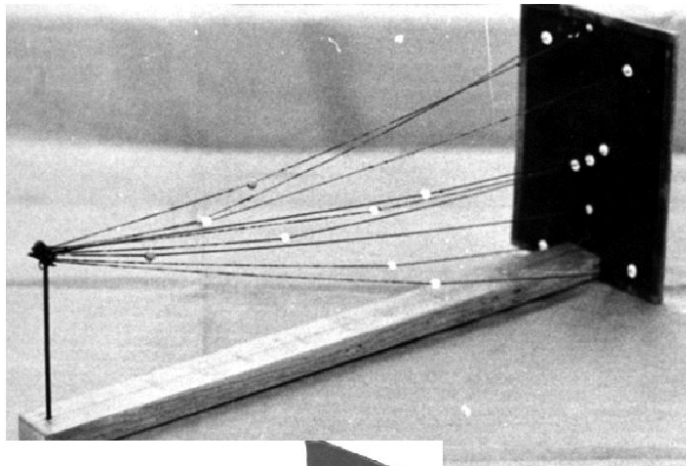
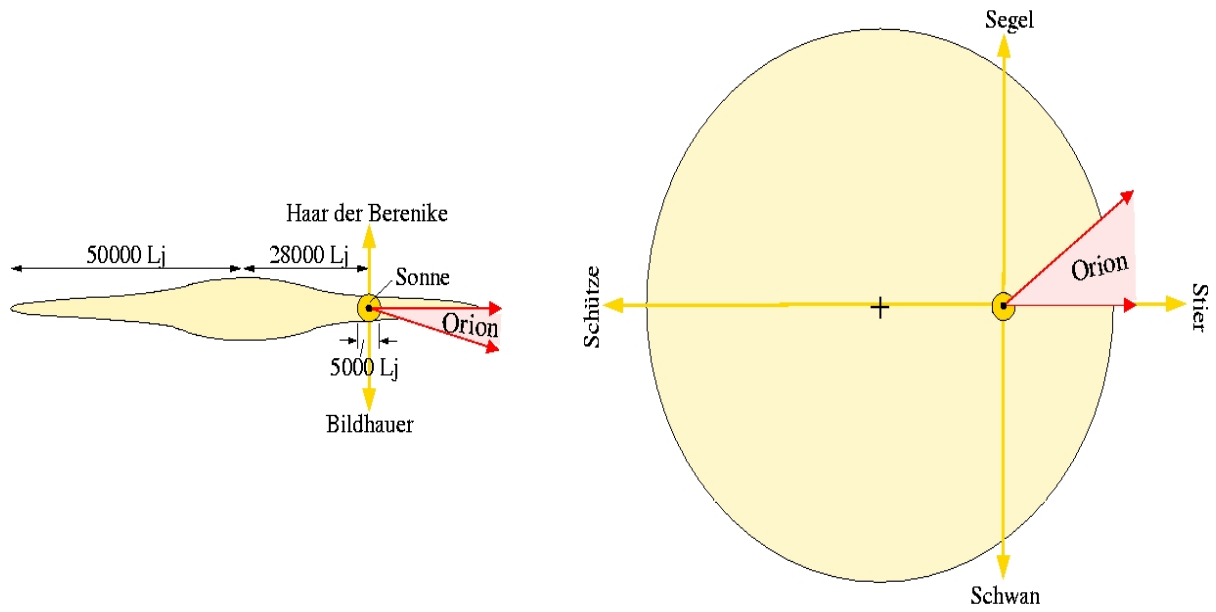
$$V_{\text{Kegel}} = \frac{1}{3} \pi \cdot r^2 \cdot h \quad \rightarrow \quad 0,7 \cdot \frac{1}{3} \pi \cdot r^2 \cdot h = 200 \cdot 10^9 \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot R^3$$

Bei einem Neigungswinkel von 45° gilt:  $r=h$

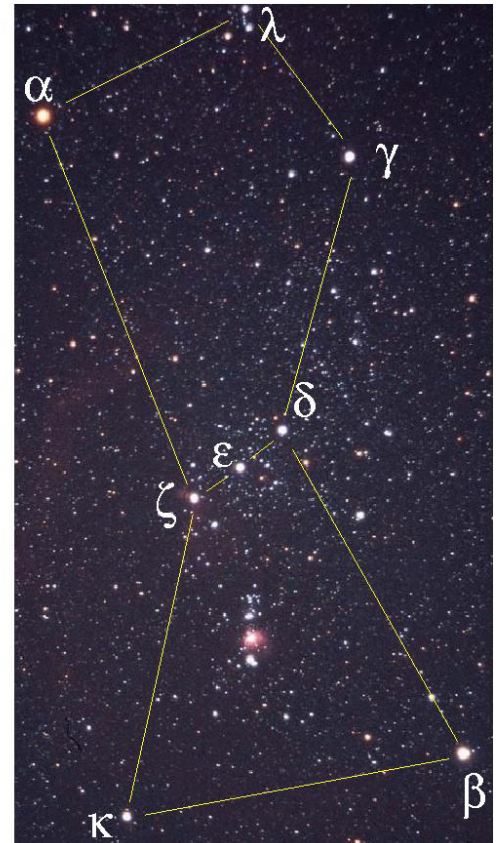
$$0,7 \cdot \frac{1}{3} \pi \cdot r^3 = 200 \cdot 10^9 \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot R^3$$

$$r = \sqrt[3]{R^3 \cdot \frac{4 \cdot 200 \cdot 10^9}{0,7}} = \sqrt[3]{(0,5 \cdot 10^{-3} \text{ m})^3 \cdot \frac{4 \cdot 200 \cdot 10^9}{0,7}} \approx 5,23 \text{ m} .$$

## 5. Sternbilder – Orte der hellen („Figur bildenden“) Sterne im Modell



$\alpha$ Ori:	310 Lj
$\beta$ Ori:	910 Lj
$\gamma$ Ori:	360 Lj
$\delta$ Ori:	2300 Lj
$\epsilon$ Ori:	1200 Lj
$\zeta$ Ori:	1100 Lj
$\kappa$ Ori:	1300 Lj
$\lambda$ Ori:	1400 Lj



Man stelle für andere Sternbilder die zur Modellierung nötigen Daten zusammen.

## 6. Arbeitsblatt: Sternbilder im Wandel (WiS!-Material zu SuW 9/2005)

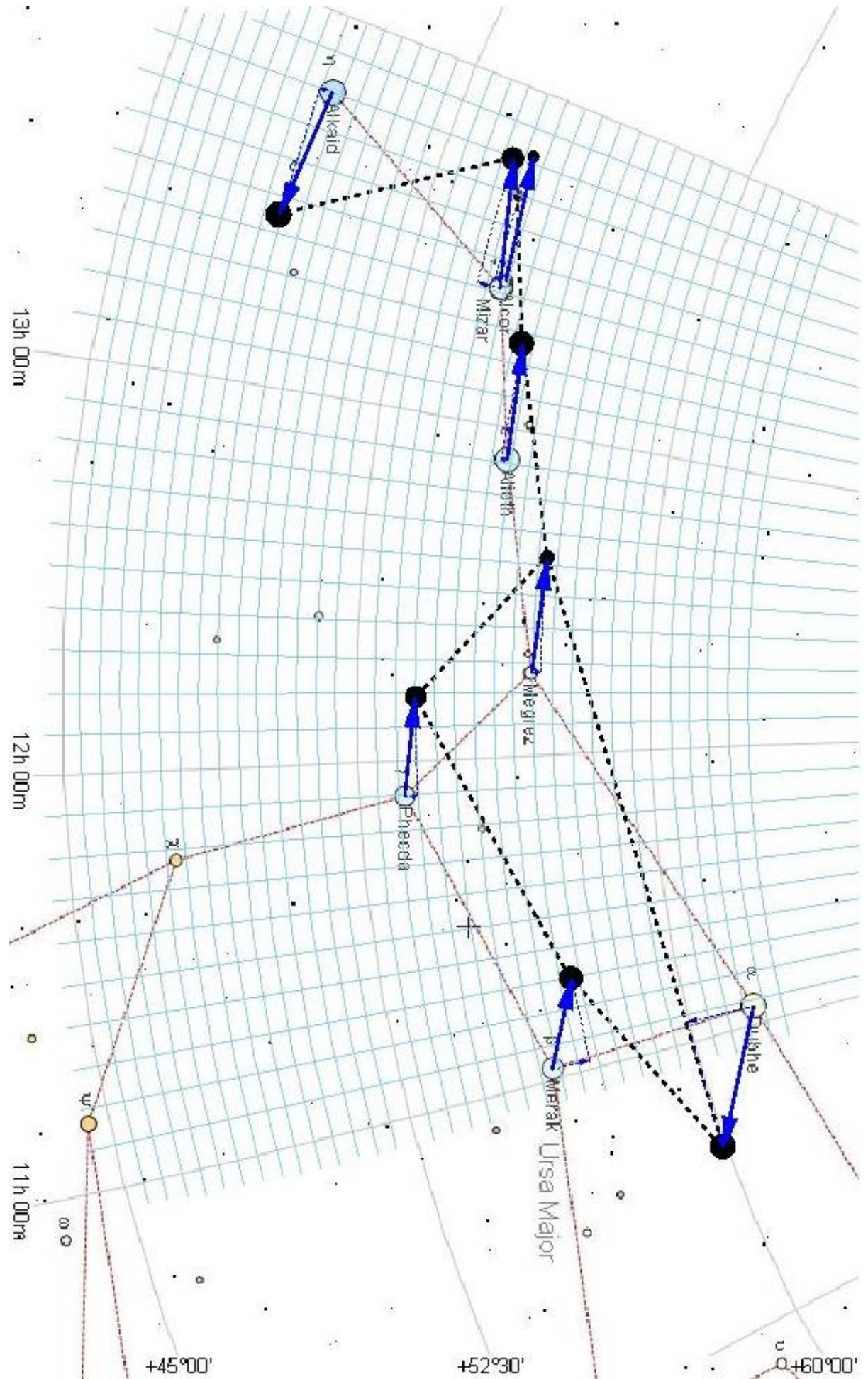
Wie werden der Große Wagen (Teil des Sternbilds Ursa Major) oder das „Himmels-W“ (Teil des Sternbilds Cassiopeia) in 100.000 Jahren erscheinen?

Man bestimme zunächst die Änderungen der Äquatorkoordinaten der Sterne  $\Delta\alpha$  und  $\Delta\delta$ , die sich aufgrund ihrer entsprechenden Eigenbewegungskomponenten  $\mu_\alpha$  und  $\mu_\delta$  in 100.000 Jahren ergeben (man beachte die Einheiten).

Sterne im Sternbild <b>Ursa Major</b>	$\mu_\alpha$ [s/a]	$\mu_\delta$ ["/a]	$\Delta\alpha$ [h] (in 100.000 a)	$\Delta\delta$ [°] (in 100.000 a)
$\alpha$ UMa / Dubhe (1,8)	-0,0167	-0,066	-0,46	-1,83
$\beta$ UMa / Merak (2,4)	+0,0099	+0,034	+0,28	+0,94
$\gamma$ UMa / Phecda (2,4)	+0,0107	+0,012	+0,30	+0,33
$\delta$ UMa / Megrez (3,3)	+0,0127	+0,009	+0,35	+0,25
$\epsilon$ UMa / Alioth (1,8)	+0,0133	-0,006	+0,37	-0,17
$\zeta$ UMa / Mizar (2,3)	+0,0141	-0,020	+0,39	-0,56
$\eta$ UMa / Alkaid (1,9)	-0,0125	-0,011	-0,35	-0,31
UMa / Alkor (4,2)	+0,0135	-0,009	+0,38	-0,25

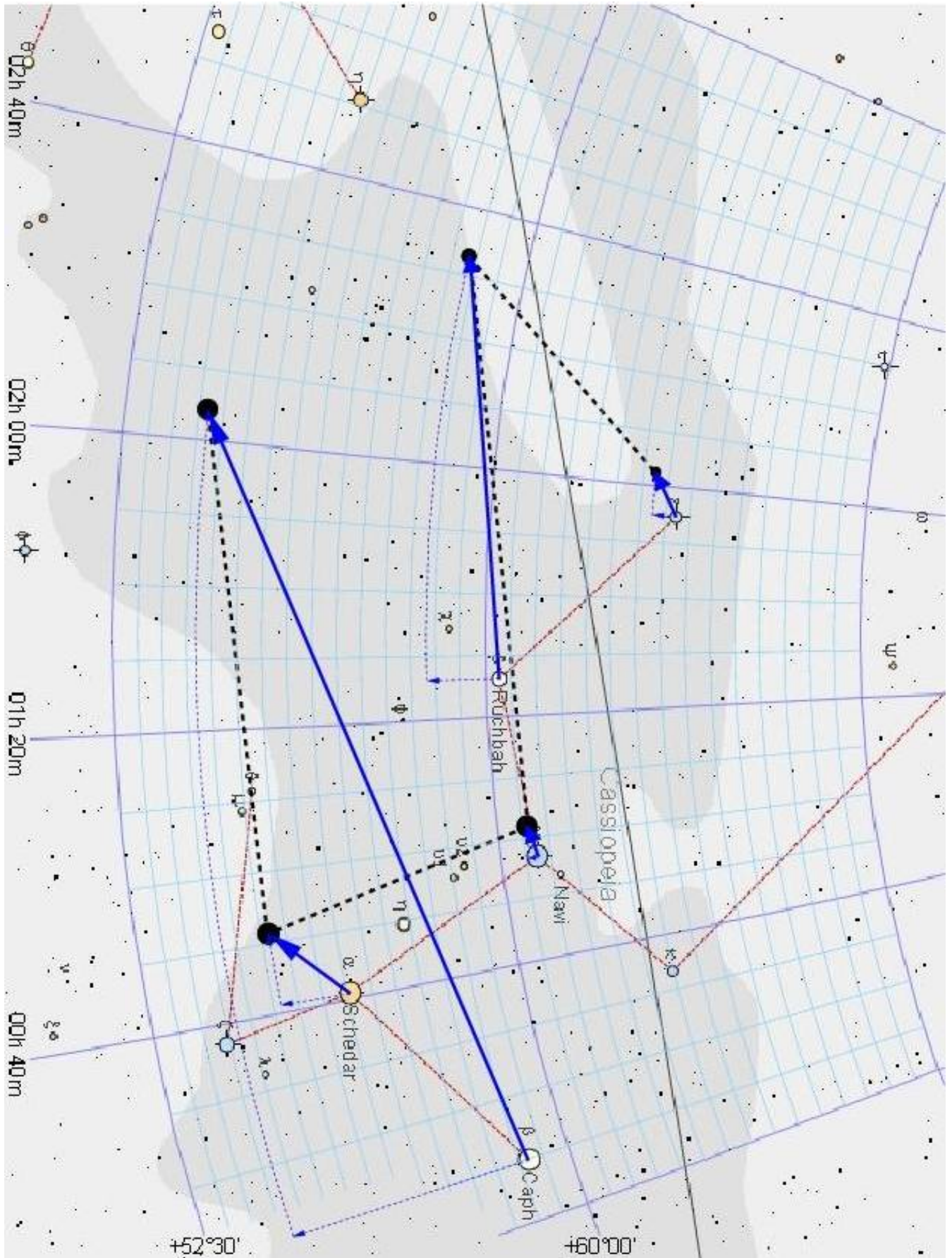
Sterne im Sternbild <b>Cassiopeia</b>	$\mu_\alpha$ [s/a]	$\mu_\delta$ ["/a]	$\Delta\alpha$ [min] (in 100.000 a)	$\Delta\delta$ [°] (in 100.000 a)
$\alpha$ Cas / Schedar (2,2)	+0,0064	-0,032	+10,7	-0,89
$\beta$ Cas / Caph (2,3)	+0,0683	-0,181	+113,8	-5,03
$\gamma$ Cas / Navi (1,6)	+0,0035	-0,005	+5,8	-0,14
$\delta$ Cas / Ruchbah (2,7)	+0,0399	-0,051	+66,5	-1,42
$\epsilon$ Cas (3,4)	+0,0048	-0,021	+8,0	-0,58

Komponenten der Eigenbewegung von markanten Sternen, die die Figürlichkeit der Sternkonfiguration des Großen Wagen im Sternbild Ursa Major und der Sternkonfiguration des „Himmels-W“ im Sternbild Cassiopeia ausmachen. Die in der Tabelle gegebenen Werte stammen aus dem PPM-Katalog (Positions and Proper Motions, Quelle: <http://vizier.cfa.harvard.edu/viz-bin/VizieR?-source=I/146/>).



Sternkonstellation des Großen Wagen im Sternbild Ursa Major heute und nach 100.000

Jahren.



Sternkonstellation des „Himmels-W“ im Sternbild Cassiopeia heute und nach 100.000 Jahren.