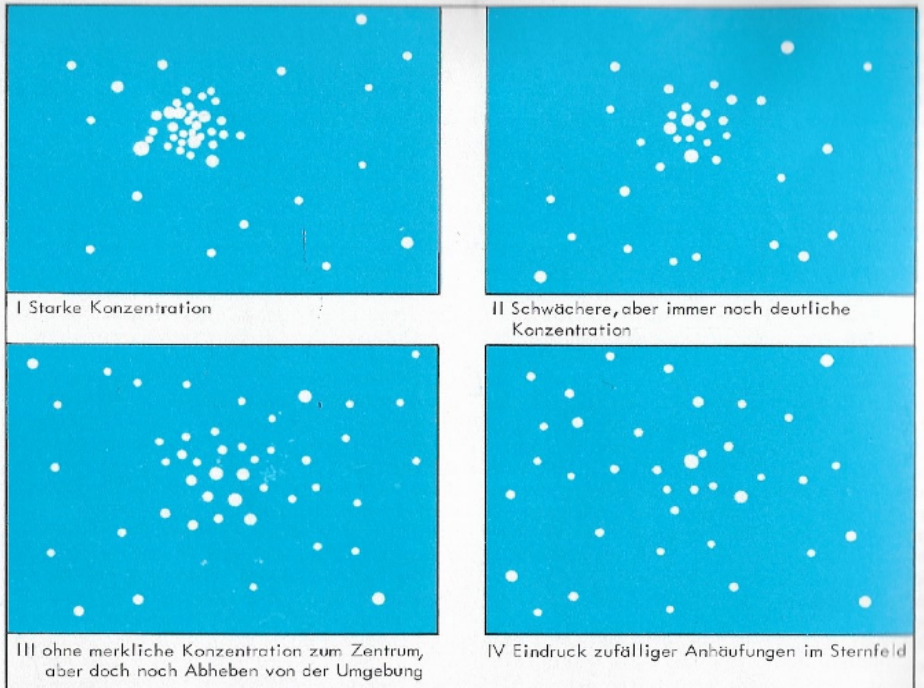
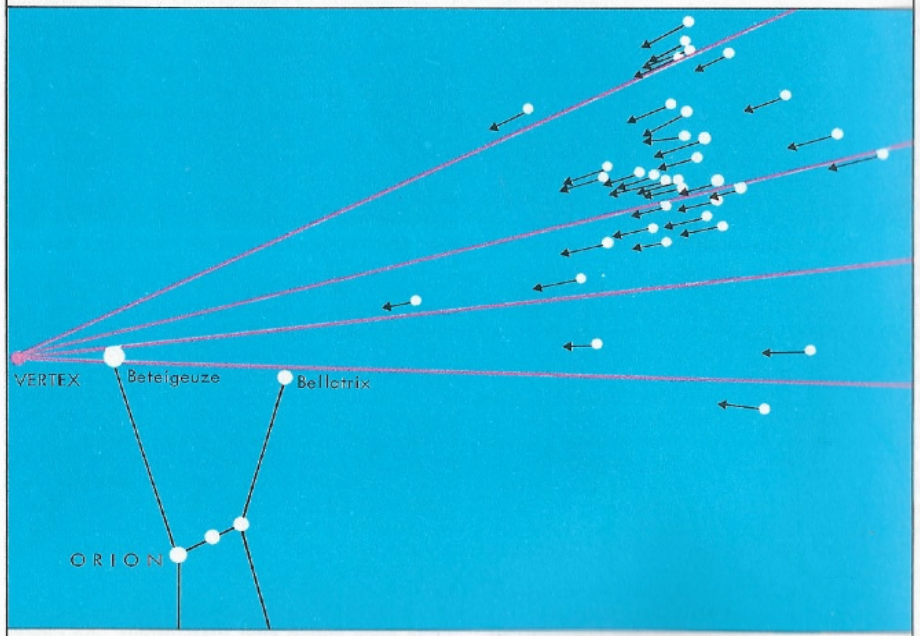
§7.1 Milchstraße1: Sternhaufen, Struktur, Rotation (aus J.Herrmann, DTV-Atlas „Astronomie“, p.174-181)



A **Die Klassifikation der offenen Sternhaufen**



B **Die Eigenbewegungen der Hyadensterne** in Richtung auf einen Punkt östlich Beteigeuze

Offene Sternhaufen

Wie bereits auf S. 157 dargelegt wurde, sind Doppel- und Mehrfachsterne keine Seltenheit. Von Systemen, die vier, fünf oder noch mehr Komponenten enthalten, ist es aber nur ein kleiner Schritt zu den offenen Sternhaufen, die 10 bis einige tausend Sterne enthalten können.

Die wohl bekanntesten Beispiele sind die Plejaden im Stier, die teilweise bereits mit bloßem Auge in einzelne Sterne aufgelöst werden können, die Hyaden im Stier in noch etwas geringerer Entfernung und daher stärkeren Auflösung, sowie die Praesepe im Krebs, die mit freiem Auge allerdings nur noch als rundlicher Nebelfleck sichtbar ist.

Innerhalb unseres Milchstraßensystems wird die Zahl der offenen Haufen auf rund 15000 geschätzt. Sie sind vor allem in der Äquatorebene des Milchstraßensystems angeordnet. Ihre wahren Durchmesser können einige parsec betragen, ein Maximum liegt bei 3–4 parsec. Die größten Objekte kommen auf nahezu 20 parsec.

Je nach der Konzentration der Haufensterne unterscheidet man 4 verschiedene Klassen (S. 174 A). Zusätzliche Klassifikationsmöglichkeiten sind:

p (poor): der Sternhaufen enthält weniger als 50 Sterne; m (moderately): der Sternhaufen enthält 50–100 Sterne; r (rich): der Sternhaufen enthält über 100 Sterne.

Ferner können die unterschiedlichen scheinbaren Helligkeiten zur Klassifikation herangezogen werden:

1. Alle Sterne zeigen etwa dieselbe scheinbare Helligkeit.
2. Die Sterne zeigen eine ziemlich gleichmäßige Streuung ihrer Helligkeiten über einen großen Bereich.
3. Neben einigen sehr hellen Sternen gibt es viele schwächere, gleichmäßig über einen größeren Helligkeitsbereich streuende Sterne.

Beispiele sind: Plejaden II 3 r, Hyaden II 3 m, Praesepe I 2 r.

Über die Farben-Helligkeits-Diagramme offener Sternhaufen siehe Seite 178f.

Bewegungssternhaufen (Sternstrom)

Da die offenen Sternhaufen gemeinschaftliche Sterngruppen darstellen, ist es naheliegend, daß sie auch im Raum eine gleichartige Bewegungsrichtung zeigen. Die Eigenbewegungen (und Radialgeschwindigkeiten) zeigen daher oft Gemeinsamkeiten. Bei den näheren Sternhaufen treten diese Effekte besonders deutlich hervor, so daß sich für diese Sterngruppen auch der Begriff Bewegungssternhaufen (oder Sternströme) eingebürgert hat.

Das bekannteste Beispiel hierfür sind die Hyaden, die rund 350 Sterne umfassen und sich relativ zur Sonne mit einer Geschwindigkeit von 32 km/s schräg nach hinten von uns weg bewegen. Im Laufe der Zeit, mit zunehmender Entfernung der Hyadensterne scheint daher der Sternhaufen immer mehr zu schrumpfen und auf einen Zielpunkt (*Vertex*) zuzustreben, dem Konvergenzpunkt der ganzen Bewegung. Der Vertex der Hyaden liegt etwa 6° östlich Beteigeuze, dem Hauptstern des Orion (S. 174 B). An ihm werden die Hyadensterne nach etwa 65 Millionen Jahren als ganz enggedrängter Sternhaufen zu beobachten sein.

Ein weiterer bekannter Bewegungssternhaufen ist die Praesepe im Krebs. Bei einer Geschwindigkeit von 27 km/s liegt der Vertex fast genau halbwegs zwischen Beteigeuze und Sirius im Großen Hund. Die Plejaden streben auf einen Punkt zu, der im Sternbild Pictor (Maler) liegt, unweit Canopus, dem Hauptstern im Schiffskiel. Die Relativgeschwindigkeit beträgt 5 km/s.

Im Gebiet Skorpion/Centaurus liegt ein weiterer zerstreuter Bewegungshaufen mit Zielrichtung Sternbild Puppis (Hinterdeck), ebenfalls unweit Canopus. Ferner sind zu erwähnen drei Bewegungshaufen im Perseus, im Orion und im Sternbild Coma (Haar der Berenike).

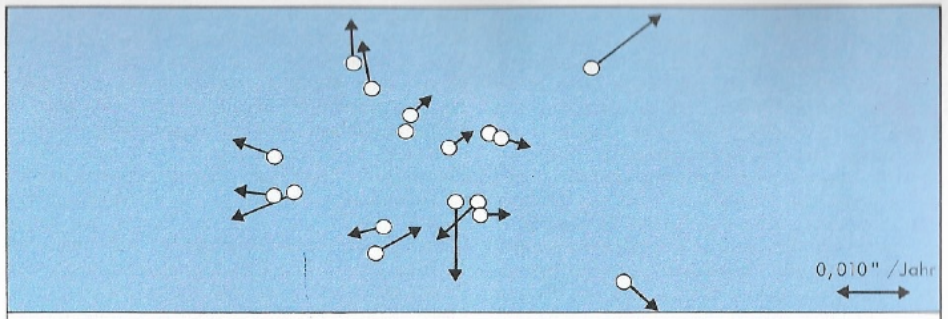
Eine Kuriosität bildet der *Ursa maior-Strom* (Bärenstrom). Zu den 126 Mitgliedern dieses Haufens zählen u. a. die Sterne β, γ, δ, ε und ζ Ursae maioris, also die Sterne des Großen Wagens, außer dem rechten oberen Kastenstern (α Ursae maioris) und dem letzten Deichselstern (η Ursae maioris). Es gehört zu ihm aber auch Sirius, obwohl dieser Stern fast diametral am Himmel den »Wagensternen« gegenübersteht. Sonne, β Aur, bei β Leo.. (O.Th.-214)

Mit anderen Worten: unser Sonnensystem steht inmitten des Bärenstroms, ohne allerdings zu ihm zu gehören und an seiner räumlichen Bewegung teilzuhaben. Die Sterne des Bärenstroms fliegen an uns vorbei. Die Geschwindigkeit relativ zur Sonne beträgt 29 km/s. Die Lage des Zielpunktes ist bei der großen Zerstreuung des Haufens etwas schwierig zu bestimmen, dürfte aber in der Gegend der Sternbilder Schütze/Mikroskop liegen.

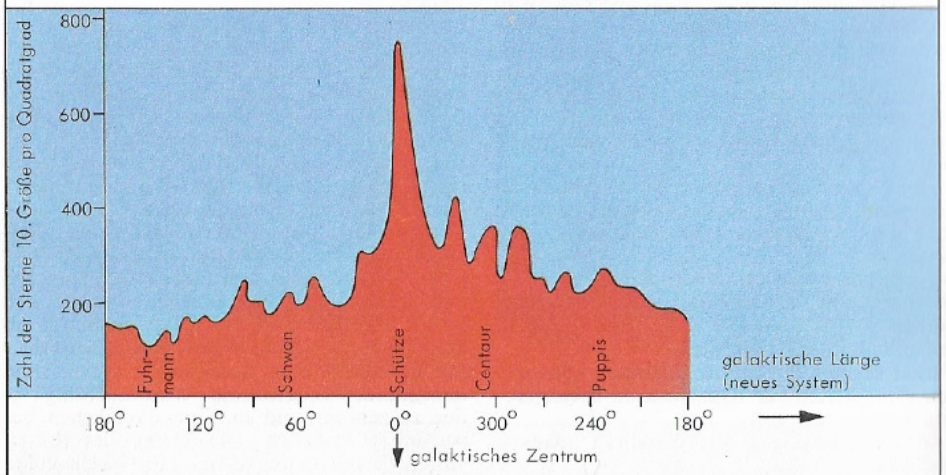
Sternassoziationen

Hier handelt es sich um Ansammlungen von Sternen, die gleiche physikalische Eigenschaften haben. Am wichtigsten sind die *O-Assoziationen*, deren Mitglieder der Spektralklasse O sowie B 0 bis B 2 angehören. Sie enthalten bis zu einigen hundert Sternen. Ihr Durchmesser beträgt 30 bis 200 parsec. Meist sind die O-Assoziationen räumlich derart mit offenen Sternhaufen verbunden, daß die Sterne der Assoziationen einen Hof um einen oder mehrere offene Haufen bilden. Stets sind sie auch in der Nähe interstellarer Materie, meist von leuchtenden diffusen Nebeln zu finden. Bei einigen O-Assoziationen wurden Expansionsbewegungen der Sterne gefunden (Abb. S. 176 A).

Besondere Beispiele sind u. a. eine Assoziation im Einhorn, die mit NGC 2264 und 2244 benachbart ist, sowie I Lac (in der Eidechse) und II Per (bei ζ Persei). Die Expansionsgeschwindigkeiten der Einzelsterne betragen einige km/s, woraus sich das Alter der Assoziationen ermitteln läßt. I Lac hat ein Alter von 4,2 und



A Die Expansion der Sterne in der O-Assoziation im Perseus



B Die Flächenhelligkeit der Milchstraße in Abhängigkeit von der galaktischen Länge

C **Unser Milchstraßensystem von der Kante her gesehen.** Die kugelförmigen Sternhaufen (rot) bilden einen annähernd sphärischen Raum um unser Sternsystem

II Per von 1,5 Millionen Jahren. Die O-Assoziationen sind extrem junge kosmische Objekte.

In einigen Fällen konnten O- oder B-Sterne festgestellt werden, die sich wegen ihrer hohen Expansionsgeschwindigkeit bereits weit vom Ort ihrer ursprünglichen Assoziation entfernt haben. So gehören z. B. die Sterne AE Aurigae (im Fuhrmann), μ Columbae (in der Taube) und 53 Arietis (im Widder) zur Orion-Assoziation, aus der sie mit Geschwindigkeiten von 128 km/s im Falle der beiden erstgenannten Sterne bzw. 80 km/s im letzteren Falle herausfliegen.

Die *T-Assoziationen* enthalten bis zu einigen hundert veränderliche Sterne vom Typus T Tauri (s. S. 167). Auch sie stehen räumlich mit Nebeln in Verbindung. Wegen der geringeren absoluten Helligkeit der T Tauri-Sterne sind die T-Assoziationen bisher nicht so häufig gefunden worden. Die meisten konzentrieren sich auf den Bereich um die Sternbilder Orion und Stier.

Kugelhaufen

In sehr kleinen Instrumenten erscheinen die Kugelhaufen als rundliche Nebelflecke mit einer zentralen Verdichtung. Bei etwas größeren Fernrohröffnungen kommen die hellsten Sterne in den Randgebieten zum Vorschein. Eine vollständige Auflösung in Sterne gelingt auch mit den lichtstärksten Instrumenten nicht. Es ist daher schwer, die Gesamtmasse und Gesamtzahl der Sterne in den Kugelhaufen abzuschätzen. Die Sternzahlen dürften zwischen 50000 und 50 Millionen liegen. Die Gesamtmasse wird z. B. für den Kugelhaufen M 3 im Sternbild Jagdhunde auf 245000 Sonnenmassen beziffert. Die Durchmesser betragen im Mittel 30 parsec. Einen besonders großen Durchmesser hat ω Centauri mit über 100 parsec. Die mittleren Entfernungen der Sterne in den Kugelhaufen sind bedeutend geringer, die mittlere Dichte der Sterne ist schon in den Randgebieten 10 mal und in den Zentren der Kugelhaufen 1000 mal größer als in der Umgebung der Sonne.

Die Entfernungen der Kugelhaufen sind deutlich größer als die der offenen Haufen und Assoziationen. Sie gehören zwar noch zu unserem galaktischen System, bilden aber einen Halo, ein hofartiges, sphärisches Gerüst, um dieses herum.

Die Kugelhaufen enthalten eine große Zahl von Veränderlichen vom Typ RR Lyrae (s. S. 161), die Entfernungsbestimmungen mit Hilfe der Perioden-Leuchtkraft-Beziehung erlauben. Daneben gibt es auch langperiodische Cepheiden vom Typ W Virginis und einen kleinen Prozentsatz von Halbregelmäßigen und RV Tauri-Sternen.

Alle Sternhaufen haben aus dynamischen Gründen eine begrenzte Lebenserwartung. Die offenen Haufen zerstreuen sich nach bereits 100 Millionen bis spätestens 3 Milliarden Jahren. Je mehr Sterne ein Haufen enthält, desto stabiler ist er. Die Kugelhaufen übertreffen daher das Alter für die offenen Haufen noch bei weitem und bestehen über 10 Milliarden Jahre.

Die Milchstraße (Galaxis)

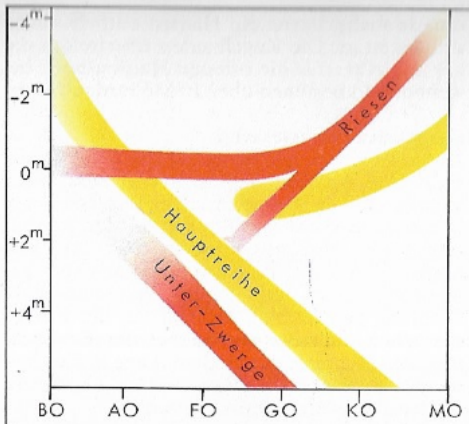
Das matt schimmernde Band der Milchstraße stellt eine Ansammlung schwacher und daher weit entfernter Sterne dar. Der Großkreis der Milchstraße dient zur Festlegung des galaktischen Koordinatensystems (s. S. 176). Die Sternzahlen pro Quadratgrad nehmen vom galaktischen Nord- und Südpol systematisch in Richtung galaktischer Äquator zu, ein Effekt, der schon andeutungsweise bei der Beobachtung des Himmels mit bloßem Auge in Erscheinung tritt, aber noch drastischer bei Hinzunahme teleskopischer Sterne auffällt.

Aber auch längs des galaktischen Äquators, also des Milchstraßenbandes selbst, ist eine systematische Änderung der *Sternzahlen* pro Quadratgrad festzustellen. Am sternreichsten ist die Milchstraße im Schild und Schützen (Sommersternbilder!), am sternärmsten in einem um etwa 180° gegenüberliegenden Gebiet, also im Raum Orion und Stier (Wintersternbilder!). Daneben gibt es aber auch zahlreiche lokale Schwankungen. Schon W. Herschel hatte vor fast zwei Jahrhunderten grundsätzlich die richtige Lösung für die Erscheinung gefunden, daß man in der Richtung der Milchstraße sehr viel mehr Sterne sieht als nach anderen Raumrichtungen: unsere Erde befindet sich in einem abgeflachten, linsenförmigen Sternsystem. In Richtung der Äquatorebene dieses Systems staffeln sich bis in größere Entfernungen wesentlich mehr Sterne hintereinander als in einer Richtung senkrecht dazu. Außerdem hat unsere Sonne mit ihrem Planetensystem ihren Platz, wie wir heute wissen, nicht im Zentrum des *Milchstraßensystems (galaktischen Systems)*, sondern etwas exzentrisch dazu. Dadurch zeigen die Helligkeit der Milchstraße und die Sternzahlen in ihr eine Asymmetrie.

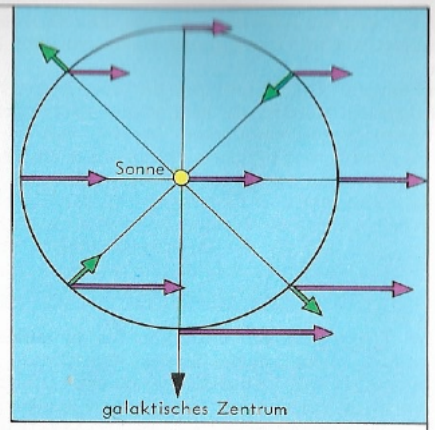
In Richtung Schütze ist das Zentrum des Systems zu suchen. Der Kern kann durch die Position der Radioquelle *Sagittarius A* und durch infrarottechnische Mittel genauer lokalisiert werden ($\alpha = 17^h46{,}1^m$ und $\delta = -29°0{,}1'$ für 2000.0). Wegen der interstellaren Materie, die besonders in der galaktischen Äquatorebene angereichert ist, kann man optisch leider nicht durch das ganze Milchstraßensystem beobachten. Auch zum Kern des Systems selbst ist die Sicht verwehrt. Innerhalb der galaktischen Ebene kann der Beobachter im allgemeinen nur etwa 10000 Lichtjahre hinausschauen. Aus diesem Grund ist die Erforschung der Struktur unseres Milchstraßensystems so schwierig.

Indessen lag es schon seit Jahrzehnten nahe, für unser Sternsystem eine Spiralstruktur anzunehmen. Man beobachtet außerhalb unseres eigenen Systems andere Galaxien, die zu einem sehr großen Teil Spiralnebel sind (s. S. 197).

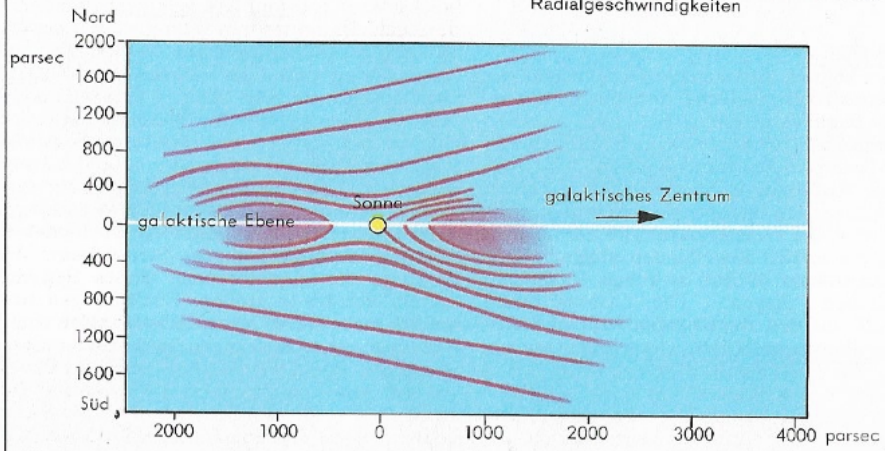
Mit den Methoden der *Stellarstatistik* lassen sich



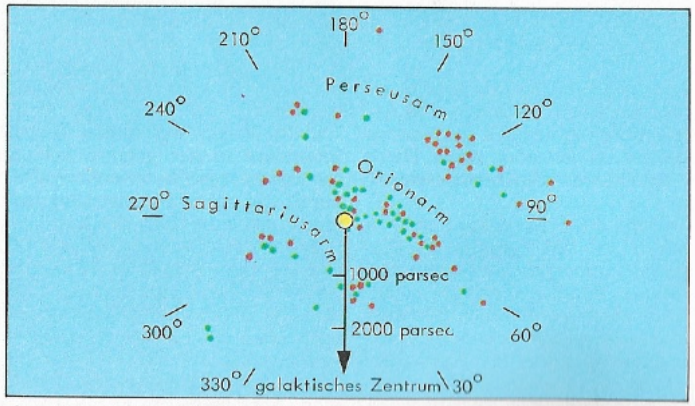
A **Das Hertzsprung-Russell-Diagramm für die Population I (gelb) und die Population II (rot)**



B **Bewegungsverhältnisse der Sterne in Sonnenumgebung** um das Zentrum des Milchstraßensystems (rot). Die grünen Pfeile bedeuten die relativ zur Sonne auftretenden Radialgeschwindigkeiten



C **Schnitt senkrecht zur galaktischen Ebene.** Die roten Linien geben die relative Sternhäufigkeit an



D **Die Lage junger kosmischer Objekte** bei einer Sicht senkrecht auf die galaktische Ebene. Gelb = Sonne. Rot = offene Sternhaufen mit Sternen vom Spektraltyp O–B2. Grün = diffuse Nebel (H II-Regionen). Drei Spiralarme sind angedeutet

aber doch auch hier Ergebnisse erzielen. Zunächst fällt die außerordentliche *Konzentration* der meisten Objekte *gegen den galaktischen Äquator* hin auf. Besonders stark ist diese Konzentration bei den Sternen der frühen Spektralklassen (O, B), bei den offenen Sternhaufen und Assoziationen, den Novae, Supernovae, Pulsaren, Planetarischen Nebeln und der interstellaren Materie. Die Sterne der späteren Spektraltypen sind nicht ganz so streng an die galaktische Ebene gebunden, zeigen aber trotzdem noch eine mittlere Konzentration. Von den Veränderlichen haben die stärkste Tendenz, sich in der galaktischen Ebene zu versammeln, die Cepheiden, sowie die RW Aurigae-, RV Tauri- und R Coronae borealis-Sterne.

Überhaupt keine Konzentration zur galaktischen Ebene weisen die Kugelhaufen und die in ihnen stehenden »Haufenveränderlichen« vom Typ RR Lyrae auf. Die Kugelhaufen stehen um die galaktische Scheibe herum (s. S. 176 C). Ebenfalls keine Konzentration zeigen die U Geminorum-Sterne und die Mirasterne mit kurzen Lichtwechselperioden.

Neben dieser räumlichen Gliederung zeigen sich bei bestimmten Sterngruppen auch verschiedene Typen von HERTZSPRUNG-RUSSELL-Diagrammen (S. 178 A). Die sogenannte *Population I* ist in der galaktischen Ebene anzutreffen; die *Population II* dagegen mehr im Halo, also vor allem in den Kugelhaufen. Der Unterschied besteht darin, daß bei der Population I die Hauptreihe bis weit nach links oben zu den O- und B-Sternen reicht, während bei der Population II diese Sterne fehlen und der Riesenast eine Gabelung aufweist. Heute kann man die Populationen noch etwas feiner aufgliedern:

1. *Extreme Population I* (O- und B-Sterne, δ Cephei-Sterne, offene Sternhaufen);
2. *Ältere Population I* (A-Sterne, normale Riesen, Sterne mit starken Metallinien);
3. *Scheibenpopulation* (Novae, Planetarische Nebel, helle rote Riesen, Sterne mit schwächeren Metallinien, Sterne im Kern des Milchstraßensystems);
4. *Zwischenpopulation II* (Mirasterne mit kleiner Periode, Schnelläufer über 30 km/s senkrecht zur galaktischen Ebene);
5. *Halo-Population II* (Sterne in Kugelhaufen, RR Lyrae-Sterne, Unterzwerge).

In der angegebenen Reihenfolge wird die Konzentration zum galaktischen Äquator hin immer geringer, der mittlere Abstand von ihm nimmt von 120 auf 2000 parsec zu. Außerdem ist diese Folge auch als Altersfolge zu verstehen. Die Mitglieder der extremen Population I haben durchschnittlich ein Alter von 100 Millionen Jahren, die der Halo-Population II dagegen von 12–15 Milliarden Jahren.

In der unmittelbaren Umgebung der Sonne waren mit statistischen Methoden zunächst nur zwei Spiralarme unseres Systems angedeutet. Es schien so, daß die Sonne etwa zwischen zwei Spiralarmen liegt. Doch blieben diese Untersuchungen etwas unklar. Mit Hilfe der Untersuchung junger Sterne (O-, B-Sterne usw.) war dies in anderer Weise möglich (S. 178 D). Hier konnten sogar drei Spiralarme lokalisiert werden. Auch helle Nebel und offene Sternhaufen zeigen den Verlauf einiger Spiralarme in der Umgebung unserer Sonne. Ebenso war dies mit einer Analyse der radioastronomischen Messungen auf 21 cm Wellenlänge möglich (s. S. 180 f.). Diese setzt aber eine sichere Theorie über die Rotation des galaktischen Systems voraus.

Die Rotation des galaktischen Systems

Aus dynamischen Gründen müssen die Sterne des Milchstraßensystems um das Zentrum des galaktischen Systems rotieren. Vor allem dieser Umstand führt zur *Stellardynamik*. Da bei unterschiedlichem Abstand vom Zentrum verschiedene Rotationsgeschwindigkeiten zu erwarten sind, zeigen sich in den Eigenbewegungen der Sterne in Abhängigkeit von der galaktischen Länge, also vom Winkelabstand der Sterne gegen die Richtung zum galaktischen Zentrum, statistische Effekte: Sterne, die in Richtung zum Zentrum stehen, rotieren schneller und eilen uns daher voraus; Sterne in Richtung zum Antizentrum bewegen sich langsamer und bleiben zurück. Ähnliche Effekte sind bei den Radialgeschwindigkeiten zu erkennen: Sterne, die um 45° gegen die Zentrumsrichtung bzw. Antizentrumsrichtung verschoben stehen, zeigen statistisch ein Maximum der Radialgeschwindigkeit, und zwar positiv (Abstandsvergrößerung) zwischen der Zentrumsrichtung und der Richtung der Sonnenrotation, sowie zwischen der Antizentrumsrichtung und der Richtung, aus der die Sonne bei ihrer Rotationsbewegung herkommt. Eine negative Radialgeschwindigkeit (Abstandsverringerung) ist in 90° Abstand dazu zu beobachten.

Sowohl für die Eigenbewegung EB als auch die Radialgeschwindigkeit RG ergibt sich in Abhängigkeit von der galaktischen Länge eine Doppelwelle. Die *OORTschen Rotationsformeln* lauten

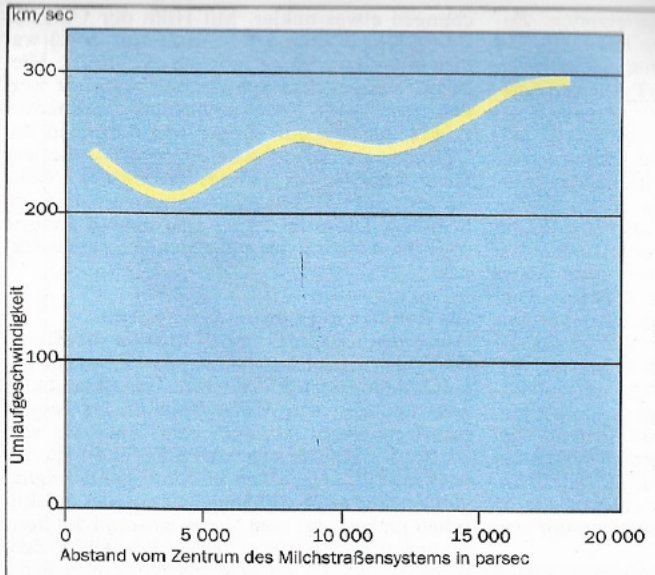
$$RG = A \cdot r \cdot \sin 2\,(l - l_o)$$
$$EB = A \cdot r \cdot \cos 2\,(l - l_o) + B \cdot r$$

r ist die Entfernung in parsec, l die galaktische Länge und l_o die galaktische Länge des Milchstraßenzentrums, l_o = 327,69° (im alten System) bzw. 0° (im neuen System, s. S. 47). A und B sind Konstanten. Es ist

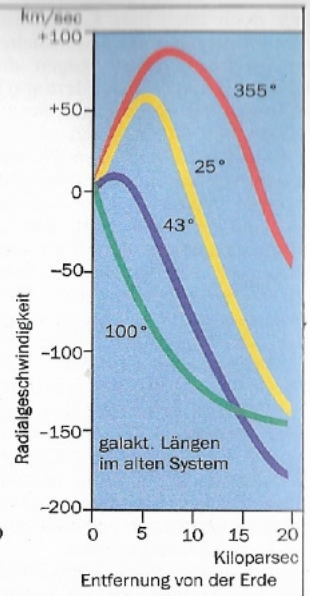
$$A = 19{,}5\ \text{km/s} \cdot \text{kiloparsec}^{-1}$$
$$B = -7{,}4\ \text{km/s} \cdot \text{kiloparsec}^{-1}$$

Aus den OORTschen Formeln kann umgekehrt bei bekannter Radialgeschwindigkeit oder Eigenbewegung die Entfernung berechnet werden.

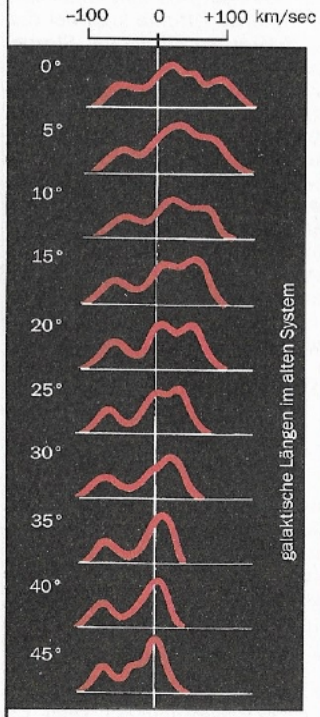
Aus dem Verhalten der Eigenbewegungen in den einzelnen galaktischen Längen läßt sich auch die Winkelgeschwindigkeit der Sonne um das galaktische Zentrum ableiten. Andererseits



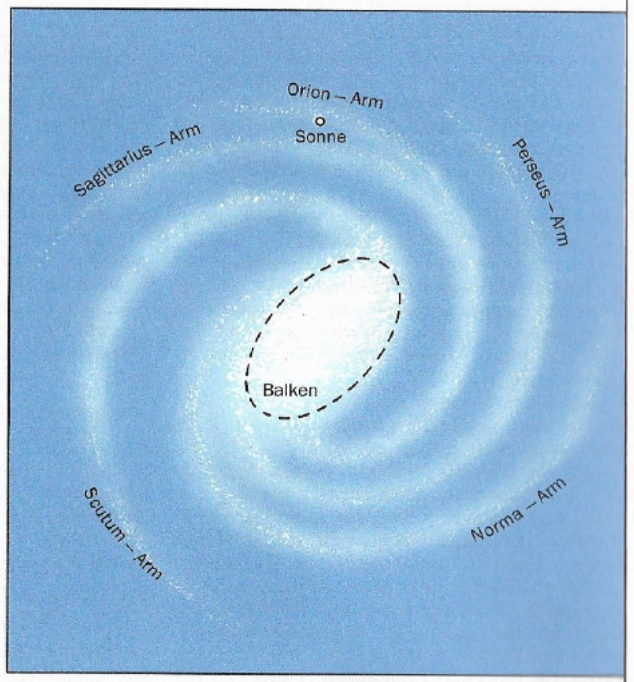
A **Die Rotationsverhältnisse** in unserem Milchstraßensystem



B **Radialgeschwindigkeit** und Entfernung für Objekte in unserem Milchstraßensystem



C **Beispiele für die Linienverschiebungen** der 21 cm-Wasserstoff-Linie in verschiedenen galaktischen Längen



D **Der Aufbau unseres Milchstraßensystems** (schematisch)

kann auch der Abstand der Sonne vom Milchstraßenzentrum ermittelt werden, wozu statistische Untersuchungen, etwa der räumlichen Anordnung der Kugelhaufen usw. verhelfen. So ergeben sich folgende charakteristische

Zahlen für das Milchstraßensystem

größter Durchmesser	34000 parsec
kleinster Durchmesser, gemessen durch den Kern	5000 parsec
Sonnenabstand vom Zentrum	8500 parsec ± 1000 parsec
Sonnenabstand von der galaktischen Ebene	14 parsec (nördlich)
Rotationsgeschwindigkeit der Sonne	220 km/s
Umlaufszeit der Sonne um das galaktische Zentrum	240 Mill. Jahre
Gesamtmasse	200 Milliarden Sonnenmassen

Die parabolische Entweichgeschwindigkeit für den Ort der Sonne beträgt etwa 300 km/s. Es mag solche Ausreißer aus unserem Milchstraßensystem geben. Die hohen Radialgeschwindigkeiten, die bei einigen Sternen zu beobachten sind (s. S. 143), d.h. die sogenannten *Schnelläufer* (RG > 65 km/s), erklären sich aber meist aus dem Umstand, daß diese Sterne schräg zur Bewegungsrichtung der Sonne laufen, z.B. auf stark exzentrischen Bahnen vom Milchstraßenzentrum nach außen. Sie bleiben also gegenüber der Sonnenbewegung zurück und man müßte eigentlich von »Langsamläufern« sprechen.

Die mittlere *Umlaufsgeschwindigkeit der Sterne* in Abhängigkeit von ihrer Distanz vom galaktischen Zentrum ist eine recht komplizierte Kurve, die zum Teil noch nicht ganz gesichert ist, vor allem für die zentrumsnahen Gebiete.

Die Kurve fällt nicht, wie dies z.B. im Planetensystem der Fall ist, von innen nach außen allmählich ab, sondern zeigt gemäß neuerer Untersuchungen in den äußersten Bereichen des Milchstraßensystems sogar einen beachtlichen Anstieg. Aus dem Rotationsverhalten des Systems läßt sich auch dessen Masse ableiten. Dabei ergibt sich für das engere System (Scheibe) der obengenannte Wert. Darin nicht eingeschlossen ist der Halo und eine noch weiter nach außen reichende Korona, die erst in jüngerer Zeit diskutiert wird. Sie dürfte einen Durchmesser von vielleicht 60000 bis 90000 parsec haben. Die Gesamtmasse des Systems erreicht damit vermutlich fast 1 Billion Sonnenmassen. Die Korona deutet sich nur durch die oben erwähnte hohe Rotationsgeschwindigkeit in der äußeren Galaxis an. Welche Massen dafür verantwortlich sind, ist noch unklar. In Betracht kommen braune Zwerge (s. S. 157), noch nicht näher erkannte interstellare Materie sowie exotische Elementarteilchen, wie sie die moderne Elementarteilchenphysik gelegentlich annimmt.

Die **Spiralstruktur** des Milchstraßensystems konnte in den letzten etwa 20 Jahren durch radioastronomische Beobachtungen mehr und mehr enträtselt werden. Längs der Spiralarme ist der interstellare Wasserstoff (H I-Gebiete) besonders reichlich angeordnet. Diese sind nicht optisch, sondern durch ihre Emission der 21 cm-Linie (s. S. 180 D) feststellbar. Schwierigkeiten bereitet nicht die Ermittlung der Richtung, in der die 21 cm-Strahlungsgebiete liegen, sondern deren Entfernungen. Sie sind überhaupt nur indirekt aus den DOPPLER-Verschiebungen dieser Emissionslinie feststellbar, denn nach den OORTschen Rotationsformeln (s. S. 179) kann bei bekannter Radialgeschwindigkeit auch die Distanz r dieser Emissionsgebiete abgeleitet werden. Da die in den OORTschen Formeln auftretenden Konstanten aber nicht gesichert sind, ergeben sich Unsicherheiten. Außerdem sind Mehrdeutigkeiten möglich.

Nach OORT z.B. könnte bei der galaktischen Länge 335° eine Radialgeschwindigkeit von + 50 km/s einen Abstand von 5000 oder 13000 parsec bedeuten (S. 180 B). Die Methode versagt auch völlig im Bereich zwischen etwa 170° und 190°, sowie 345° bis 15° Länge.

Aus demselben Grund ist auch die unmittelbare Sonnenumgebung nicht zugänglich. Übrigens kann es vorkommen, daß wir in bestimmten Richtungen die 21 cm-Linie zwei- oder mehrmals mit verschiedener DOPPLER-Verschiebung empfangen. Dann liegen entsprechend zwei oder mehr Spiralarme in derselben Blickrichtung hintereinander. Glücklicherweise stimmen die 21-cm-Messungen in der Umgebung der Sonne mit den optischen Untersuchungen (s. Abb. S. 178 D) in groben Zügen überein. Einige Spiralarme haben nach den Sternbildern, durch die sie verlaufen, Namen erhalten.

An der äußeren Grenze des **Kerns** des Milchstraßensystems existieren einige Gasringe, die teilweise nach außen expandieren. Dazu gehört der sog. 3-kpc-Arm, der also rund 3 kpc vom Kern entfernt ist. Der Kern selbst wurde früher nahezu kugelförmig angenommen. Neuere Untersuchungen zeigen aber, daß es sich um einen balkenförmigen Kern handelt. Unser Milchstraßensystem ist also eine sog. Balkenspirale vom Typ SBb (s. Abb. S. 196 A). Dies geht u.a. aus Infrarotuntersuchungen hervor, die zeigen, daß uns der östl. Teil des Kerns näher steht als der westl. Teil. Der Balken ist etwa 12000–18000 Lj lang und 4000–6000 Lj breit. Die Längsachse des Balkens ist gegen unsere Blickrichtung um 20° bis 45° geneigt, weist also eher gerade in unsere Richtung. Der innerste Teil des Kerns enthält heiße Gaswolken und zahlreiche Sterne. Die innersten Sterne umlaufen das Zentrum mit einigen hundert km/s so schnell, daß man dort ein schwarzes Loch mit 3 Mill. Sonnenmassen annehmen muß. Das Zentrum fällt mit der Radioquelle Sagittarius A* zusammen. Ihre starke Strahlung stammt aus einem Gebiet, das nur etwa 13 AE groß ist, etwas größer als der Durchmesser der Jupiterbahn.