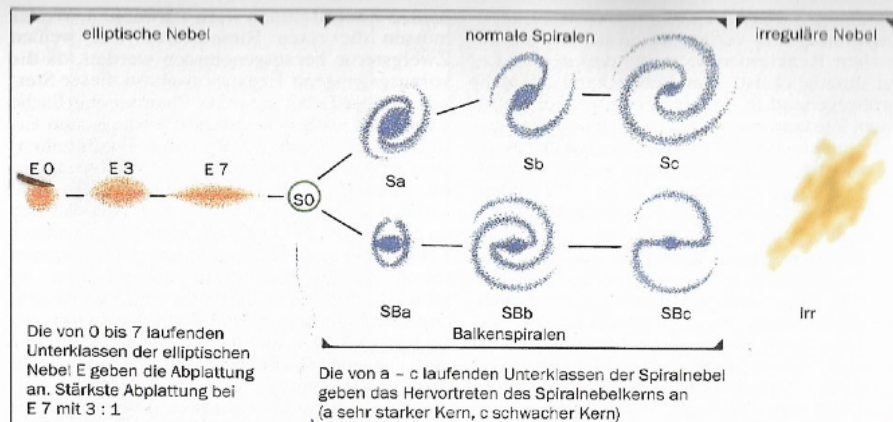


# §8.1: Galaxien, lokale Gruppe, Quasare (aus J.Herrmann, DTV-Atlas „Astronomie“, p.196-203)



A Klassifikation der Galaxien nach Hubble

Methode	visuelle absolute Helligkeit	maximale Reichweite der Methode in Lichtjahren
RR Lyrae - Sterne	(+0, <sup>m</sup> 6)	einige Millionen
hellste Sterne in Kugelhaufen	-2, <sup>m</sup> 8 bis 1, <sup>m</sup> 9	10 Millionen
klassische Cepheiden	-7 <sup>m</sup> bis -2 <sup>m</sup>	50 Millionen
Novae	-9 <sup>m</sup> bis -6 <sup>m</sup>	einige 100 Millionen
hellste unveränderliche Sterne	(-9 <sup>m</sup> )	einige 100 Millionen
Kugelhaufen	-10 <sup>m</sup> bis -5 <sup>m</sup>	einige 100 Millionen
Durchmesser von H II - Regionen	-	einige 100 Millionen
Supernovae	-20 <sup>m</sup> bis -15 <sup>m</sup>	einige Milliarden
hellste Nebel in einem Nebelhaufen	-22 <sup>m</sup> bis -20 <sup>m</sup>	mehrere Milliarden

B Die wichtigsten Methoden zur Entfernungsbestimmung außergalaktischer Nebel

Das wohl bekannteste Objekt eines extragalaktischen Sternsystems ist der *Andromedanebel* (M 31), der als länglicher Nebelfleck der Helligkeit 4<sup>m</sup>9 bereits in klaren Nächten mit bloßem Auge beobachtet werden kann. Doch war es bis weit in das 20. Jahrhundert hinein keineswegs sicher, ob M 31 wirklich außerhalb unseres Milchstraßensystems steht. Noch um 1920 war alles offen. Das Problem wurde erst entschieden, als es im Jahre 1923 mit Hilfe des 2,5 m-Spiegels auf dem Mt. Wilson gelang, im Andromedanebel und in einigen anderen ähnlichen Objekten, z. B. dem Spiralnebel M 33 im Sternbild Dreieck, einzelne Sterne zu finden. Darunter waren auch mehrere Cepheiden, deren Lichtwechsel leicht verfolgt werden konnte. Aus ihrer Periode ließ sich deren absolute Leuchtkraft und aus der Differenz zwischen scheinbarer und absoluter Helligkeit wieder die Entfernung ableiten. Nach einigen Korrekturen nimmt man heute z. B. für den Andromedanebel eine Entfernung von 2,9 Mill. Lichtjahren an und glaubt, daß man nunmehr die Entfernungsskala der außergalaktischen Systeme besser im Griff hat. Trotzdem können die Entfernungsangaben immer noch um etwa 30 bis 40% unrichtig sein.

Zur Entfernungsbestimmung außergalaktischer Systeme können mehrere Methoden angewandt werden:

- aus der Perioden-Helligkeitsbeziehung der Cepheiden;
- nach der absoluten Helligkeit bestimmter Objekte, z. B. den mittleren Maximalhelligkeiten der Novae und Supernovae, der Gesamthelligkeit der Kugelhaufen, der absoluten Helligkeit der hellsten Sterne in einem System (O- und B-Sterne), der hellen H II-Regionen (leuchtender Wasserstoff) usw.

Diese Methoden setzen aber voraus, daß man das betreffende Objekt wirklich auch in einzelne Sterne und andere Objekte auflösen kann. Bei den näheren Galaxien ist dies möglich. Dort entdeckt man fast sämtliche Typen kosmischer Objekte, wie sie auch von unserem Milchstraßensystem her bekannt sind. Leider gelingt aber eine Auflösung in Einzelobjekte nur bei Galaxien bis einige hundert Millionen Lichtjahre. Jenseits dieser Grenze sind die Galaxien nur noch als diffuse Nebel zu erfassen. In diesen Fällen helfen zur Entfernungsbestimmung andere Methoden weiter:

- Aus allen näheren Galaxien kann eine mittlere absolute Helligkeit und ein mittlerer Durchmesser abgeleitet werden, unter Umständen getrennt für die einzelnen weiter unten zu besprechenden Typen der Galaxien. Dann läßt sich aus der scheinbaren Helligkeit bzw. dem Winkeldurchmesser die Entfernung bestimmen. Solche Angaben sind im Einzelfall natürlich nicht mehr so verläßlich. Vor allem die scheinbaren Winkeldurchmesser lassen sich beobachtungstechnisch nur ungenau ermitteln. Etwas besser steht es bei den aus den scheinbaren Helligkeiten abgeleiteten Entfernungen.

Die mittlere absolute Helligkeit der Galaxien beträgt -15<sup>m</sup> bis -20<sup>m</sup>, der wahre Durchmesser zwischen 500 und 150000 Lj.

4. Wie auf S. 203 gezeigt wird, besteht infolge der Expansion des Weltalls eine Beziehung zwischen der Entfernung und Radialgeschwindigkeit außergalaktischer Objekte. Auch dieser Umstand wird, nachdem diese »HUBBLE-Beziehung« geeicht wurde, zu Entfernungsmessungen herangezogen.

### Die Klassifikation der Galaxien

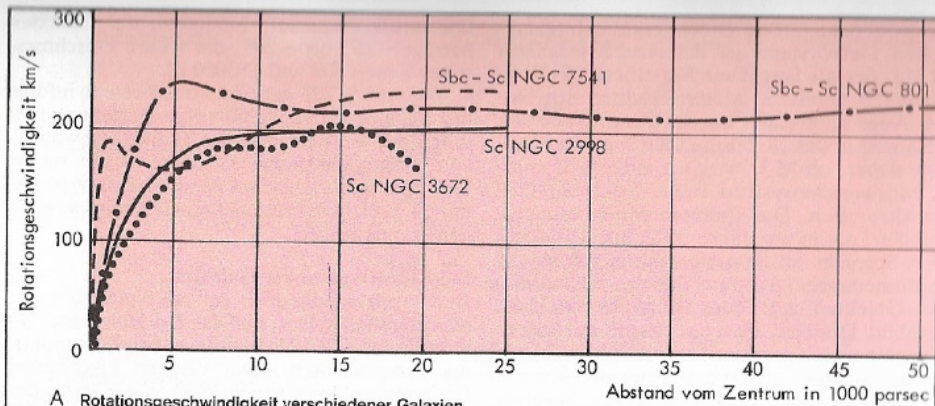
Der Andromedanebel ist ein spiralförmiges Milchstraßensystem, auf das der Betrachter allerdings etwas schräg blickt, so daß die Spiralarme perspektivisch etwas verzerrt erscheinen. Bei anderen *Spiralnebeln* blicken wir entweder fast genau senkrecht auf die Spiralarme (z. B. M 51 im Sternbild Jagdhunde oder M 101 im Großen Bären) oder auch genau seitlich auf die Kante des Systems, so daß wir ein linsenförmiges oder spindelförmiges Gebilde erblicken. Von diesen perspektivischen Verzerrungen abgesehen lassen sich die Spiralnebel in besondere Typen aufteilen. Ferner gibt es *elliptische* und *unregelmäßige* (irreguläre) *Nebel*.

Die bekannteste und heute noch geläufigste Klassifikation stammt von E. P. HUBBLE (s. Abb. A). In unserer Nachbarschaft zeigt sich, daß die elliptischen Galaxien am häufigsten sind. Unter den Spiralen machen 1/3 die normalen Spiralen und 2/3 die Balkenspiralen aus, rechnet man die schwach ausgeprägten Balken hinzu, für die G. DE VAUCOULEURS die Klasse SABA bis SABc vorschlug. Gelegentlich wird bei der Hubble-Klassifikation auch noch die Untergruppe d verwendet. Die Klassifikation ist kein Entwicklungsschema. Die Entwicklung der Galaxien, bei der auch Kollisionen und Verschmelzungen sowie plötzliche Sternentstehungsprozesse (»Starburst-Galaxien«) eine Rolle spielen, ist äußerst verwickelt.

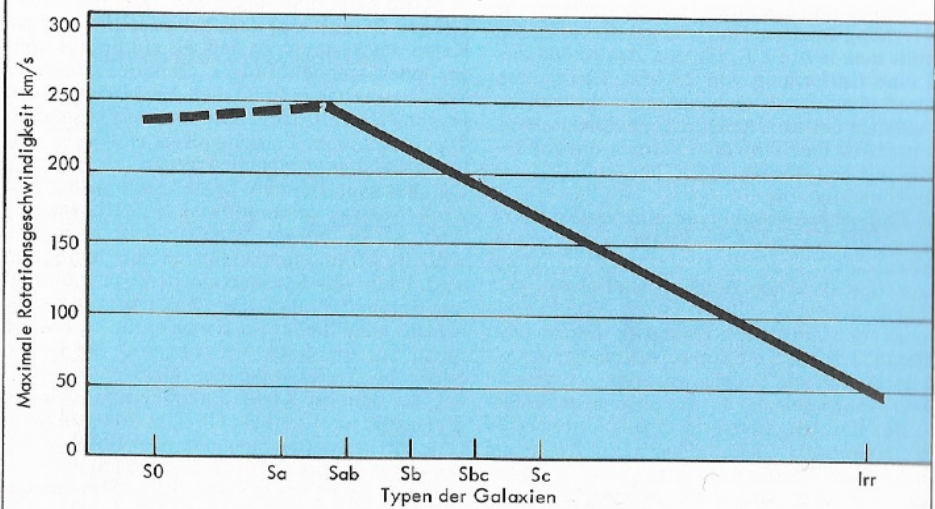
Wie bei unserem galaktischen System, so ist auch für die anderen Galaxien eine **Rotation**

anzunehmen. Sie kann mit Hilfe des DOPPLER-Effekts aufgefunden werden. Für den Fall, daß man von der Erde aus gerade auf die Kante eines galaktischen Systems blickt, bewegt sich die eine Seite auf den Beobachter zu, die andere von ihm weg. Die Rotationsgeschwindigkeiten sind in diesem Falle direkt und sogar getrennt für verschiedene Distanzen vom Zentrum meßbar. In den in der Mehrzahl vorliegenden Fällen, in denen man nicht genau von der Seite auf das System blickt, erhält man scheinbar kleinere Rotationsgeschwindigkeiten, ähnlich den Verhältnissen bei der Rotationsbestimmung der Sterne (s. S. 155). Allerdings kann bei den Galaxien meist ein ungefährender Wert für die Neigung der Rotationsachse aus dem Anblick des Systems ermittelt werden.

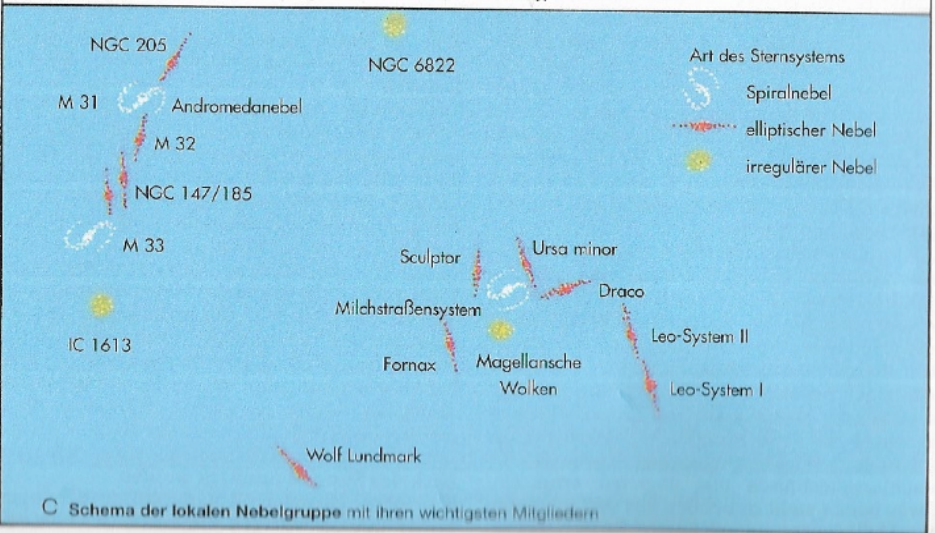
Trotzdem gelangen Rotationsuntersuchungen bisher nur an wenigen Galaxien, die von uns



A Rotationsgeschwindigkeit verschiedener Galaxien vom Typ Sb und Sc in Abhängigkeit von der Entfernung vom Zentrum



B Maximale Rotationsgeschwindigkeit verschiedener Galaxientypen



C Schema der lokalen Nebelgruppe mit ihren wichtigsten Mitgliedern

nicht allzuweit entfernt sind. Bei den Ergebnissen (S. 198) ist die Radialbewegung des ganzen Systems eliminiert. Die Rotationskurven haben große Ähnlichkeit mit der unseres Milchstraßensystems (s. S. 180). Ferner zeigt sich, daß irreguläre Systeme und offene Spiralnebel (Typ Sc) langsamer rotieren als Galaxien mit deutlicherem Kern und fester gewickelten Spiralarmen, obwohl die in Abb. 198 B dargestellte Beziehung nicht streng eingehalten wird. Im allgemeinen darf man annehmen, daß die Rotation der Spiralnebel in einer Richtung erfolgt, bei der die Spiralarme »nachgezogen« werden, also ähnlich der Erscheinung eines Feuerrades.

Aus den Rotationsverhältnissen läßt sich auch die

**Masse**

der Galaxien bestimmen. Die Massen der E- und SO-Galaxien betragen typischerweise 4 bis 3500 Mrd. Sonnenmassen. Die Sa-Spiralnebel kommen auf 20 bis 200, der Typ Sb auf 12 bis 340, Sc auf 1,3 bis 270 Mrd. Sonnenmassen. Die irregulären Galaxien enthalten 0,7 bis 130 Mrd. Sonnenmassen. Daneben gibt es winzige Zwerggalaxien, meist elliptischer Form (Typenbezeichnung DE), die nur auf wenig über 1 Million Sonnenmasse kommen.

Die in großen Abständen vom Zentrum der Galaxien flachen oder sogar teilweise noch etwas ansteigenden Rotationskurven (besonders bei den Sb- und Sc-Galaxien) zeigen an, daß sich ein großer Teil der Masse, wiederum ähnlich unserem Milchstraßensystem, in einer Art Korona um das System befinden muß.

**Die lokale Nebelgruppe**

Die Galaxien haben die Neigung, sich zu Gruppen und Nebelhaufen zusammenzuschließen. Diejenigen Galaxien, die nicht mehr als etwa 4 bis 5 Millionen Lichtjahre entfernt sind, fällt man in der lokalen Nebelgruppe zusammen (s. Tab. S. 201). Dazu gehören als wichtigste Mitglieder der Andromedanebel mit seinen Begleitern, der Spiralnebel M 33 im Sternbild Nördliches Dreieck sowie die Große und Kleine Magellansche Wolke (Kapwolken). Außerdem gibt es noch einige Zwerg-Galaxien vom Typ Ir oder E, die in den letzten Jahren aufgefunden wurden, deren Zugehörigkeit zur lokalen Gruppe noch nicht gesichert ist. Bemerkenswert war die Entdeckung einer Galaxie in Richtung Sternbild Schütze in nur 50000 Lj Abstand hinter dem Kern unserer Galaxis. Sie wird in vielen Millionen Jahren von unserem System verschluckt werden. Die nächstgelegenen Galaxien zeigen auch mit unserer Galaxis gegenseitige Gezeitenwirkungen.

**Nebelhaufen (Galaxienhaufen)**

enthalten zum Teil bis zu über 1000 Galaxien. Damit erreicht die Gesamtmasse eines Galaxienhaufens  $10^{13}$  Sonnenmassen und der Durchmesser 10 bis 30 Mill. Lichtjahre. Offenbar ist die Zahl der Galaxien, die einem Nebel-

haufen angehören, größer als die Zahl der »Feldnebel«. Die bekanntesten Nebelhaufen:

Name	Entf. in Mill. Lj	Gesamtzahl d. Nebel	RG in km/s
Virgo	70	2500	+ 1150
Pegasus I	230	100	3800
Pisces	235	100	5000
Cancer	280	150	4800
Perseus	340	500	5400
Coma	400	1000	6700
Ursa maior III	465	90	-
Hercules	615	300	10300
Haufen A	850	400	15800
Centaur	880	300	-
Ursa maior I	950	300	15400
Leo	1095	300	19500
Haufen B	1165	300	-
Gemini	1235	200	23300
Corona borealis	1235	400	21600
Bootes	2300	150	39400
Ursa maior II	2400	200	41000
Hydra	3530		60600

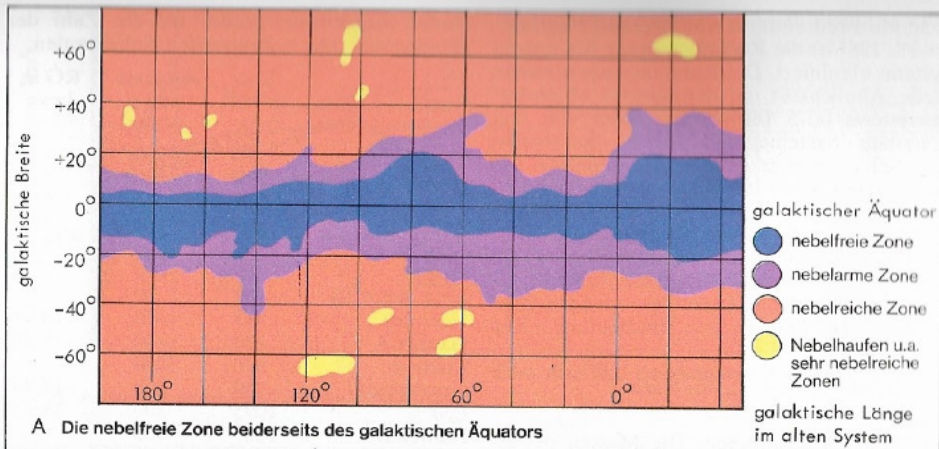
Auffallend viele Galaxiengruppen liegen in der Richtung zum Virgo-Haufen. Dies hat zu der Vermutung geführt, alle diese Gruppen und Haufen zusammen würden einen Superhaufen bilden, an dessen Rand sich die lokale Nebelgruppe und in dessen Mitte der Virgo-Haufen befindet. Die Galaxien dieses Virgo-Superhaufens, dessen Durchmesser rd. 150 Mill. Lj beträgt, dürften in 50 bis 200 Mrd. Jahren einmal um das »Virgo-Zentrum« laufen (Abb. S. 200D).

Heute ist die Existenz von Superhaufen gesichert. Darüberhinaus scheinen sich die Haufen zu einem netzartigen Muster zusammenzuschließen, das an der Oberfläche von innen fast galaxienfreien »Blasen« angeordnet ist.

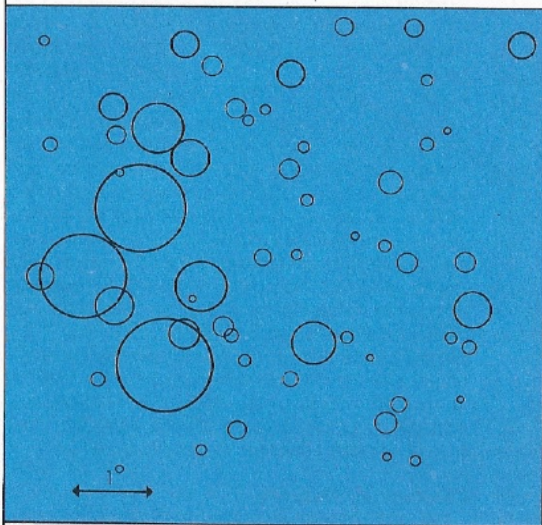
**Die Zahl der Galaxien**

Geht man zu lichtschwächeren Galaxien herab, so liegt deren Gesamtzahl in einem ähnlichen Größenbereich wie die Zahl der Einzelsterne unseres eigenen Milchstraßensystems, die man von der Erde aus beobachten kann. In der Gegend der galaktischen Pole kann man pro Quadratgrad im Mittel mit 462 Galaxien bis zur scheinbaren Helligkeit  $20^m$  und 1780 Objekten bis  $21^m$  rechnen. Damit stünden am ganzen Himmel 75 Millionen Galaxien bis  $21^m$ . Allerdings können diese nicht alle wirklich beobachtet werden, da in Richtung zum galaktischen Äquator wegen der dort hohen interstellaren Absorption praktisch überhaupt keine außergalaktischen Systeme erfaßt werden können (nebelfreie Zone).

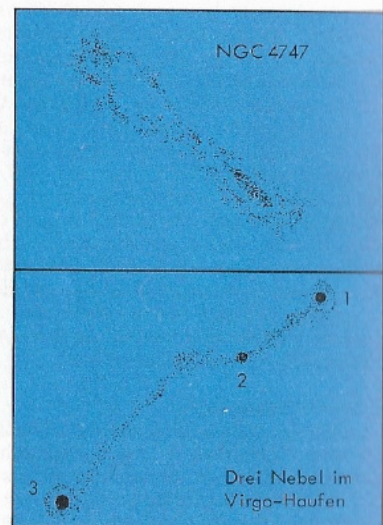
Mit zunehmender galaktischer Breite nimmt die Zahl der Galaxien pro Quadratgrad zu (S. 200 A). In Richtung zum galaktischen Zentrum (etwa  $325^\circ$  galaktische Länge) ist eine sehr auffällige Verbreitung der nebelfreien Zone zu beobachten. Weitere Verstärkungen der nebelfreien Zone liegen bei den galaktischen Längen  $80^\circ$  im Sternbild Cepheus,  $125^\circ$ ,  $145^\circ$  und  $175^\circ$



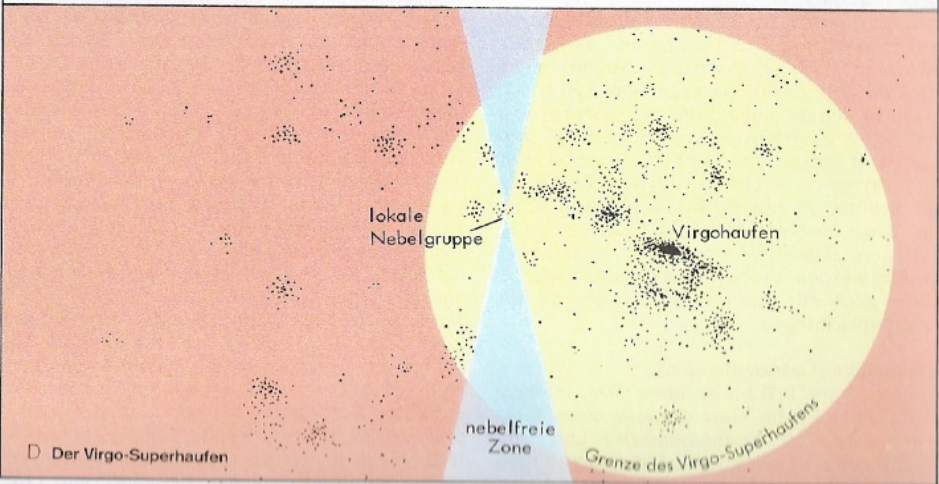
A Die nebelfreie Zone beiderseits des galaktischen Äquators



B Lage und Winkeldurchmesser von 55 großen Nebelhaufen im Sternbild Nördliche Krone



C Gezeitenwirkung zwischen Galaxien



D Der Virgo-Superhaufen

Die wichtigsten Mitglieder der lokalen Nebelgruppe

Name des Systems	Typ	Ø in Lj	Entf. in Lj	RG in km/s	Masse in $\odot$ -Massen	$M_V$
Milchstraßensystem	SBb	100000	-	-	$2,0 \cdot 10^{11}$	-
Gr. Magellansche Wolke	Ir od. SBc	23000	179000	+280	$1,4 \cdot 10^{10}$	-48,4
Kl. Magellansche Wolke	Ir	10000	180000	+167	$2 \cdot 10^9$	-16,2
Draco-System	E	1300	250000	-	$1,2 \cdot 10^5$	-8,8
Ursa minor-System	E	1300	335000	-	$10^5$	-
Sculptor-System	E	3000	465000	-	$3 \cdot 10^6$	-11,1
Ursa maior-System	E	?	500000	-	-	-
Sextans C	E	4000	590000	-	-	-
Pegasus-System	E	?	710000	-	-	-
Fornax-System	E	6700	970000	+40	$2 \cdot 10^7$	-13,2
Leo II-System	E1	1300	970000	-	$10^6$	-9,6
Leo I-System	E4	2600	970000	-	$4 \cdot 10^6$	-11,9
NGC 6822	Ir	8750	2000000	-40	$10^9$	-
IC 1613	Ir	8400	2800000	-240	$4 \cdot 10^8$	-
Andromedanebel (M 31)	Sb	130000	2900000	-270	$3,7 \cdot 10^{11}$	-
M 32 (Begl. d. Andromedanebels)	E2	2500	2900000	-210	$4 \cdot 10^9$	-
NGC 205 (Begl. d. Andromedanebels)	E5	5500	2900000	-240	$9 \cdot 10^9$	-
NGC 185	E3	4250	2900000	-340	$10^9$	-
NGC 147	E5	4250	2900000	-	$10^9$	-
Dreiecksnebel (M 33)	Sc	58000	3000000	-190	$1,4 \cdot 10^{10}$	-
Wolf-Lundmark-System	Ir	5400	3600000	-80	-	-
Sextans A	Ir	6300	4200000	-	-	-
Leo III-System	Ir	?	4600000	-	-	-
IC 10	SB	5400	5300000	-	-	-

im Gebiet Stier und Orion. In allen diesen Richtungen ist mit der Existenz besonders großer Dunkelwolken zu rechnen. So dient also eine Nebelstatistik wieder umgekehrt der Erforschung unseres Milchstraßensystems.

Aus der Statistik der Galaxien kann auch auf die mittlere Dichte der Sternsysteme im Raum geschlossen werden. Sie beträgt etwa 3 Systeme pro Kubikmegaparsec, also auf einen Würfel von 1 Million parsec = 3,26 Mill. Lichtjahre Kantenlänge. Der durchschnittliche Abstand zwischen zwei Galaxien beträgt 2,5 Mill. Lichtjahre, entsprechend dem 100- bis 200fachen des mittleren Durchmessers eines Sternsystems. Zum Vergleich ist bemerkenswert, daß der mittlere Abstand der Sterne innerhalb eines Sternsystems viel größer ist, nämlich das 100 Millionenfache ihres Durchmessers. Man kann daraus ableiten, daß Kollisionen zwischen Galaxien, bedingt durch ihre individuellen Raumbewegungen, die relativ zueinander bis zu 300 km/s betragen, gar nicht so selten zu sein brauchen. Das gilt insbesondere für die Mitglieder eines Nebelhaufens, in denen die Dichte der Einzelgalaxien 1000 mal größer sein kann als im allgemeinen Feld. Bei derartigen Zusammenstößen bleiben für die Sterne innerhalb der beiden Systeme die gegenseitigen Entfernungen immer noch sehr groß.

Die interstellare Materie dagegen, die sich räumlich weithin erstreckt, bleibt wie zwei Netze ineinander hängen. Nach Beendigung des Durchdringens der beiden Galaxien werden diese also eines Teils ihrer interstellaren Materie verlustig gegangen sein. Da im Innern eines Nebelhaufens jeder Nebel durchschnittlich in

Abständen von 50-100 Mill. Jahren eine Kollision erfährt, sind viele Systeme nach einiger Zeit von interstellarer Materie praktisch völlig freigelegt. Jetzt sind sie nicht mehr in der Lage, neue Sterne zu bilden.

Tatsächlich kommen die an interstellarer Materie armen SO-Galaxien bevorzugt in Haufen vor. Gelegentlich werden Galaxien bei nahen Begegnungen durch Gezeitenwirkungen auch stark verformt. Dabei kommt es sogar zu einer Art Kannibalismus: Kleine Galaxien werden von größeren vereinnahmt.

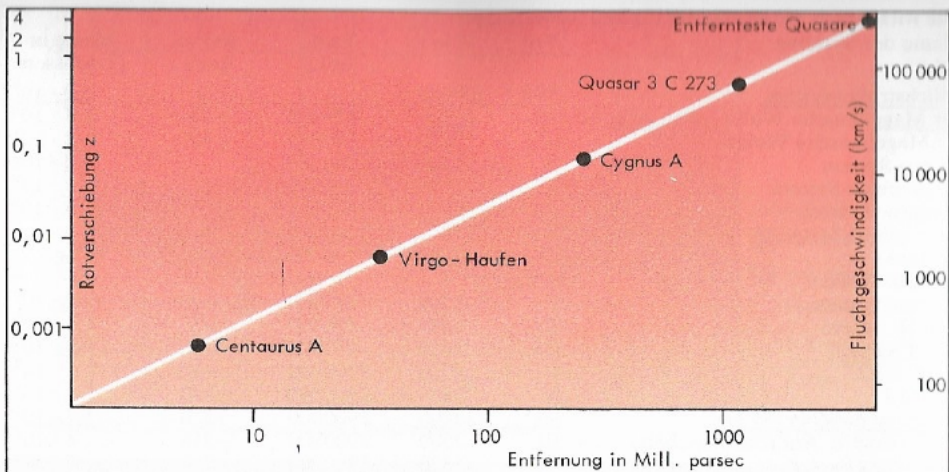
Es läßt sich berechnen, wie groß die Masse eines Haufens sein muß, damit sich dieser nicht zerstreut. Dabei zeigt sich, daß diese wesentlich mehr Masse enthalten müssen als aus der Zahl der sichtbaren Galaxien hervorgeht. Auf unsichtbare Materie zwischen den Galaxien weist auch eine Röntgenstrahlung hin, die ein Gas von 10 bis 100 Mill. K Temperatur und  $0,001$  Teilchen/cm<sup>3</sup> Dichte erzeugt. Das Problem der »fehlenden Masse« könnte aber zusätzlich auch durch die Existenz exotischer Elementarteilchen gelöst werden. So nahm man z. B. an, die Galaxienhaufen seien von einer Neutrino-wolke umgeben. Doch trägt die winzige Masse der Neutrinos tatsächlich nur einen kleinen Beitrag zu dem Problem bei. Es müssen noch andere, vorläufig nur theoretisch vermutete exotische Teilchen eine maßgebende Rolle spielen.

Die entferntesten Galaxien, die optisch noch festgestellt werden können, sind über 10 Mrd. Lichtjahre entfernt. Die Quasare (s. S. 203) können sogar noch bis in größere Entfernungen festgestellt werden.

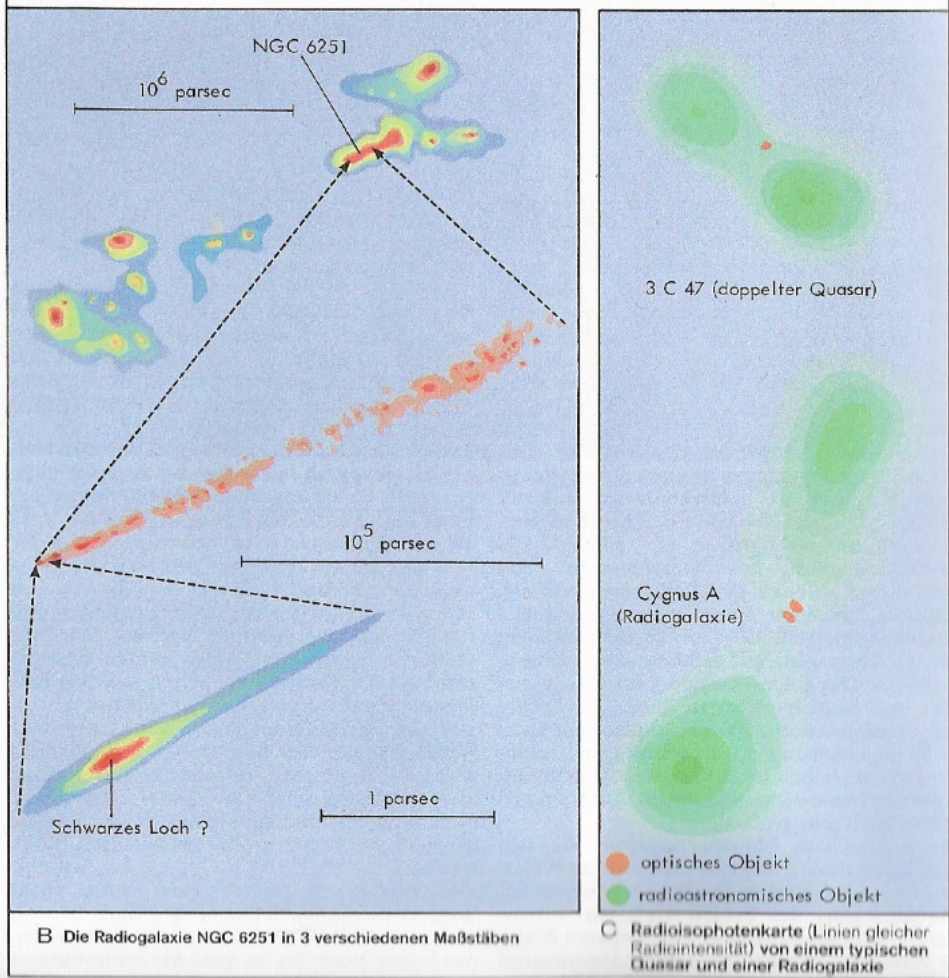
4 Sternsysteme  
Sp. d. W.  
S. 15

Skal. M<sub>v</sub>  
Rotation

2016  
1 x 12,8  
13,2



A Der Hubble-Effekt für weit entfernte Objekte



B Die Radiogalaxie NGC 6251 in 3 verschiedenen Maßstäben

C Radioisophotenkarte (Linien gleicher Radiointensität) von einem typischen Quasar und einer Radiogalaxie

Die Rotverschiebung im Spektrum

In den zwanziger Jahren wurde festgestellt, daß die Spektren der Galaxien überwiegend eine Rotverschiebung zeigen. Ihr Betrag war um so größer, je weiter die Objekte von unserer Erde entfernt sind. Lediglich bei den allernächsten Galaxien, bei den Mitgliedern der lokalen Nebelgruppe, kommen infolge der individuellen Raumbewegungen auch Annäherungen an uns vor. Im übrigen scheint (vielleicht abgesehen von sehr großen Distanzen) eine lineare Beziehung zwischen Entfernung und Rotverschiebung vorzuliegen. Deutet man letztere als DOPPLER-Effekt, und eine andere überzeugende Erklärung kommt im Augenblick nicht in Betracht, dann handelt es sich um eine Abstandsvergrößerung unter den Galaxien. Diese Erscheinung nennt man nach dem amerikanischen Astronomen E. P. HUBBLE den HUBBLE-Effekt und die Abstandsvergrößerung pro 1 Mcgarsec = 3,26 Mill. Lichtjahre Entfernung bezeichnet man als die HUBBLE-Konstante H. Wegen der schwierigen Entfernungsbestimmungen ist die Bestimmung des genauen Wertes der HUBBLE-Konstante ein Problem, das sich auch auf die Bestimmung des Weltalters (s. S. 207) auswirkt. Bisher (auch in diesem Buch) wird meist mit  $H = 55 \text{ km/s pro Mpc}$  gerechnet. Neuerdings zeigt sich, daß der Wert etwa zwischen  $55 \text{ und } 75 \text{ km/s pro Mpc}$  liegen könnte. Die Geschwindigkeiten ergeben sich wie üblich aus der Formel

$$\Delta\lambda:\lambda = v : c = z,$$

wobei  $c$  die Lichtgeschwindigkeit,  $v$  die Fluchtgeschwindigkeit,  $\lambda$  die Wellenlänge der unverschobenen Linie und  $\Delta\lambda$  die Linienverschiebung ist.

Aktive Galaxien

Gleich unserem Milchstraßensystem produzieren auch die anderen Galaxien eine Radiostrahlung. Dies gilt beispielsweise für den Andromedanebel als spiralförmiges System wie für die Große und Kleine Magellansche Wolke als irreguläre Systeme oder das Sculptor-System als elliptischen Nebel. Hier handelt es sich um »normale Galaxien« im Sinne der Intensität der ausgesandten Radiostrahlung. Daneben gibt es Radiogalaxien mit erhöhter Radiointensität. Meist handelt es sich um elliptische Riesensysteme. Typische Beispiele sind:

M 82 im Großen Bären, vermutlich ein irreguläres System. M 82 zeigt auf Photographien, die im Bereich der Spektrallinie  $H\alpha$  des Wasserstoffs erhalten wurden, filamentartige Gebilde, die vom Kern dieses Systems wegweisen. DOPPLER-Verschiebungen zeigen, daß Gasmassen mit ca.  $1000 \text{ km/s}$  vom Kern weg expandieren. Cygnus A. Nach Cassiopeia A (vermutlich der Überrest einer Supernova) die stärkste Radioquelle am ganzen Himmel. Es ist ein Doppelnebel in 560 Mill. Lichtjahren Entfernung. Virgo A. Diese Radioquelle ist identisch mit dem elliptischen Nebel M 87 in 70 Mill. Lichtjahren

Abstand, Photographien zeigen einen Pfeil (»Jet«) aus dem Kern des Systems, wobei es sich um den Auswurf von Materie handelt. Die Radiogalaxien zeigen aber häufig solche Jets nach zwei genau gegenüberliegenden Seiten, die sich oft auch noch in einzelne Knoten auflösen lassen (Abb. B). Manchmal beobachtet man auch rasche Veränderungen, die bis tief in das Innere der Radioobjekte reichen. Zu diesen sog. aktiven Galaxien gehören auch die Quasare. Der Ausdruck ist eine Abkürzung für »quasistellare Radioquellen«. Dabei senden nur wenige Quasare Radiostrahlung aus. Es sind aber starke Röntgen- und Infrarotquellen. Im Optischen erscheinen sie meist als sternartige Punkte (daher der Name!). Es sind Kerne der Galaxien, die viel heller sind als die ganze Galaxie, in der sie sich befinden. So sind diese Galaxien wegen ihrer großen Entfernung oft gar nicht mehr zu erkennen. Kurzzeitige Helligkeitsschwankungen weisen darauf hin, daß die Durchmesser der aktiven Kerne trotz ihrer ungeheuren Leuchtkraft sehr klein sind, vergleichbar mit der Größe des Sonnensystems. Schließlich zählen zu den aktiven Galaxien noch die BL Lacertae-Objekte (kurz Blazars), die im Spektrum im Gegensatz zu den Quasaren keine Emissionslinien zeigen, und die gegenüber den Quasaren um den Faktor 100 schwächeren Seyfert-Galaxien. Bei allen aktiven Galaxien ist in ihren Zentren ein schwarzes Loch mit einigen Mill. bis zu vielen Mrd. Sonnenmassen zu vermuten. In sie fällt Materie aus der Umgebung und bildet eine Accretion-Scheibe (s. S.193). Noch ehe die Materie den Schwarzschild-Radius (s. S.191) überschreitet, wird sie stark erhitzt und sendet vor allem Röntgenstrahlung aus. Ein Teil fällt in das schwarze Loch, ein anderer Teil »spritzt« in zwei zu der Scheibe senkrechte Richtungen und bildet die Jets. Inzwischen nimmt man an, daß die verschiedenen Klassen aktiver Galaxien einfach eine Folge davon sind, unter welchem Winkel wir von der Erde aus auf den aktiven Kern einer Galaxie blicken. Schauen wir senkrecht auf die Accretion-Scheibe und damit in Richtung der Jets, so beobachten wir einen Blazar. Bei schräger Blickrichtung auf die Scheibe sieht man einen Quasar. Blicken wir dagegen fast genau auf die Kante der Scheibe, erscheint eine Radiogalaxie. Ein aktiver Galaxienkern ist darauf angewiesen, daß das zentrale schwarze Loch von außen durch weitere Materie »gefüttert« wird. Erlischt dieser Nachschub, ist das schwarze Loch zwar noch vorhanden, zeigt aber keine Aktivität mehr. Dies ist der Grund dafür, daß man die meisten aktiven Galaxien in sehr großen kosmologischen Entfernungen und damit bei jüngeren Galaxien findet, jedoch weit weniger in der Nachbarschaft. Unsere Galaxie war vielleicht früher ebenfalls eine aktive Galaxie. Inzwischen schlummert in ihrer Mitte nur noch ein schwach aktives schwarzes Loch.