

Ein Modell der Lokalen Gruppe

Dirk Brockmann

Vorbemerkung

Praktisch alle Sterne des Weltalls versammeln sich in Sternsystemen (Galaxien). Die Galaxien sind ihrerseits in Gruppen (Haufen) angeordnet. Unsere Sonne ist ein Stern der Milchstraßengalaxie, die zur so genannten Lokalen Gruppe gehört. Dieser Galaxienhaufen umfasst außerdem noch die Andromedagalaxie (M31, Bild rechts, © NOAO), die Triangulumgalaxie (M33), die Magellanschen Wolken und gut dreißig andere Sternsysteme. In diesem Beitrag wird eine Anleitung gegeben, wie Schülerinnen und Schüler mit einfachen Mitteln aus gegebenen Daten ein übersichtliches Modell der räumlichen Verteilung der Galaxien in der Lokalen Gruppe basteln können. Für Schülerinnen und Schüler höherer Jahrgangsstufen bietet dieses Thema darüber hinaus interessante Rechenanwendungen, um aus den astronomischen „Rohdaten“ der Sternsysteme modellspezifische Daten zu gewinnen.



Einordnung und Fachübergreifende

Physik	Fachmethodik	Bearbeiten von Daten aus Tabellen/ Arbeit mit großen Zahlenwerten
Astronomie	Kosmologie	Anordnung der Sternsysteme in der Lokalen Gruppe, Klassifikation von Galaxien
Verknüpfungen	Astro/ Physik/ Mathematik	Untersuchung verschiedener Koordinatensysteme
	Astro/ Physik/ Kunst	Bau und Gestaltung von Modellen
	Astro/ Physik/ Informatik	Entwurf eines Programms zur Koordinatentransformation

Die Daten der Sternsysteme in der Lokalen Gruppe

Im Internet wird man unter dem Suchbegriff „Lokale Gruppe“ bzw. englisch „Local Group“ rasch eine ganze Reihe von tabellarischen Übersichten über Daten der Mitglieder der Lokalen Gruppe finden. Auch gibt es hier eine Vielzahl von dreidimensionalen Darstellungen dieses Galaxienhaufens, die bereits einen Eindruck vom Aussehen unseres zu bastelnden Modells geben.

In einem ersten Schritt sollen diese astronomischen Daten nun untersucht und ausgewertet werden. Diese Aufgaben richten sich in erster Linie an Schülerinnen und Schüler ab Klasse 10. Falls Sie nur am Bau des Modells interessiert sind, sollten Sie die Daten aus Tab. 2 (aufbereitet) verwenden.

Nachstehend finden sich aus dem Internet bezogene Daten (u.a.: www.seds.org).

Katalognr.	Name	RA/h:min	$\delta/^\circ:'$	Typ	Format	v/km/s	d/kpc
WLM	Wolf-Lundmark-Melotte	00:02	-15:28	Irr	12'·4'	-116	940
IC10		00:20	+59:18	Irr	7,3'·6,4'	-343	660
Cet dw	Cetus	00:26	-11:02	dE4			800
NGC147, DDO3		00:33	+48:31	E4	15'·9,4'	-193	755
And III		00:35	+36:31	dE6	4,5'·3'	-355	760
NGC185		00:39	+84:20	dE3	14,5'·12,5'	-208	620
M110		00:41	+41:41	E5	19,5'·12,5'		770
And VIII		00:42	+40:37		45'·10'		720
M32, NGC221		00:43	+40:52	E2	11'·7,3'	-205	770
M31, NGC224	Andromeda Galaxie	00:43	+41:16	Sb	185'·75'	-299	770
And I		00:46	+38:00	dE0	2,5'·2,5'	-380	790
SMC	Kleine Magellansche Wolke	00:52	-73:14	Irr	280'·160'	+163	58
And IX		00:53	+43:12	dE	5'		780
Scl dw	Sculptor	01:00	-33:42	dE3		+107	78
LGS3		01:04	+21 :53	Irr/dE	2'	-277	810
IC1613, DDO8		01:05	+02:08	Irr	20'·18,5'	-236	715
And X		01:07	+44:48	dE0	7'		780
And V		01:10	+47:38	dE		-403	810
And II		01:16	+33:27	dE3	3,6'·2,5'	-188	680
M33, NGC598	Triangulum Galaxie	01:34	+30:39	Sc	67'·41,5'	-180	850
Phe dw	Phoenix	01:51	-44:27	Irr	4,9'·4,1'	+56	390
For dw	Fornax	02:40	-34:32	dE2	12'·10,2'	+53	131
LMC	Große Magellansche Wolke	05:20	-68:57	Irr	650'·550'	+270	49
Car dw	Carina	06:15	-50:58	dE4	23,5'·15,5'	+223	87

Cma dw	Canis Majoris	07:15	-28:00	dE7	720'	+110	8
Leo A, DDO69		09:59	+30:45	Irr	5,1'·3,1'	+26	692
NGC3109, DDO236		10:03	-26:09	Irr	16'·2,9'	+403	1260
Ant dw	Antila	10:04	-27:20	dE3	2'·1,5'	+361	1150
Leo 1, DDO74		10:09	+12:18	dE3	9,8'·7,4'	+285	251
Sex A	Sextans	10:13	-01:37	dE4		+224	90
Leo 2, DDO93		11:14	+22:10	dE0	12'·11'	+76	230
GR8, DDO155		12:59	+14:13	Irr	1,2'·1,1'	+216	2200
UMi dw, DDO199	Ursa Minor	15:09	+67:12	dE5	41'·26'	-250	69
Dra dw, DDO228	Draco	17:20	+57:55	dE3	51'·31'	-289	76
Milchstraße		17:46	-28:56	Sbc			9
SagDEG		18:55	-30:30	dE7			28
SagDIG		19:30	-17:42	Irr	2,9'·2,1'	-79	1150
NGC6822, DDO209		19:45	-14:49	Irr	15,5'·13,5'	-49	540
Aqr dw, DDO210	Aquarius	20:47	-12:51	Irr	2,3'·1,2'	-131	950
Tuc dw	Tucana	22:42	-64:25	dE5	2,9'·1,2'	+182	900
UKS2323-326		23:27	-23:23	Irr	1,5'·1,2'	+62	2080
And VII		23:28	+50:35	dE3	2,5'·2'	-307	760
Peg dw, DDO216	Pegasus	23:29	+14:45	Irr	5'·2,7'	-181	760
And VI		23:52	+24:36	dE3	3,5'·3,5'	-354	815

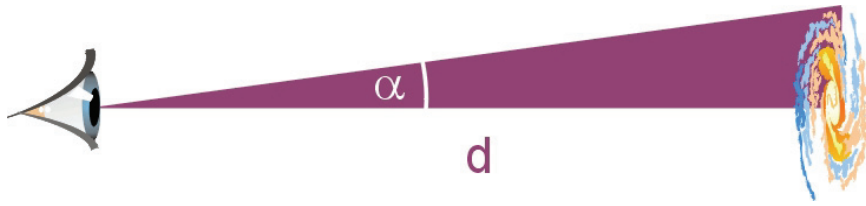
Tabelle 1

Beispiele für die Arbeit mit den Daten der Galaxien aus der Lokalen Gruppe

Aus diesen Daten können zunächst einmal die wahren Größen der Sternsysteme berechnet werden. Dies gelingt mit Hilfe der Angaben für die scheinbare Größe der Objekte sowie deren Abstand:

*Nehmen wir beispielsweise die Andromedagalaxie, die eine Längsausdehnung von 185' am Himmel hat. Dies entspricht einem Sichtwinkel von $2 \cdot \alpha \approx 3,083^\circ$ (siehe nachstehende Skizze). Bei einer Entfernung von $d = 770$ kpc ergibt sich für den Durchmesser:
 $D = 2 \cdot d \cdot \tan(\alpha/2) = 41,4$ kpc bzw. etwa 135.000 Lichtjahre¹.*

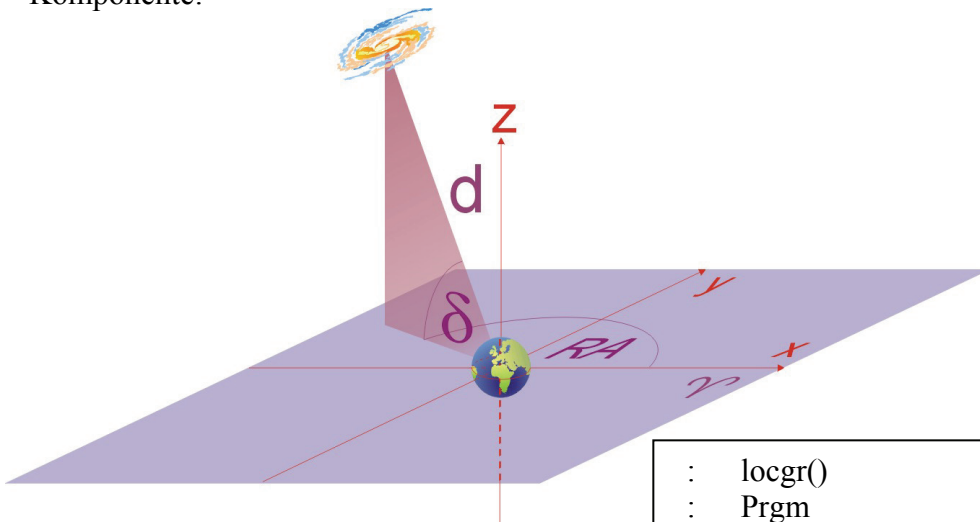
¹ Es gilt: Eine „Parallaxensekunde“ $1 \text{ pc} = 30,857 \cdot 10^{15} \text{ m} = 3,262 \text{ ly}$ (Lichtjahre)



Als nächstes soll das astronomische Koordinatensystem vorgestellt werden, das dem astronomisch nicht vorgebildeten Menschen zunächst ungewöhnlich erscheint.

Auch hier gibt es zwei Achsen, die allerdings nicht orthogonal zueinander stehen. Vielmehr handelt es sich um einen Großkreis mit einer Einteilung in 24 Stunden, wodurch der Erddrehung Rechnung getragen wird. Die „Hochachse“ ist ebenfalls gewölbt und erstreckt sich, an einem ausgezeichneten Punkt auf dem Großkreis beginnend (sog. Frühlingspunkt γ), auf einem Viertelkreis bis zur Marke 90 Grad.

Mit einfachen Mitteln der Trigonometrie kann eine Umformung der astronomischen Koordinaten in kartesische vorgenommen werden, wenn angenommen wird, dass der Frühlingspunkt γ in Richtung der x-Achse liegt. Das in der nachstehenden Skizze lila eingezeichnete pythagoreische Dreieck bildet dabei die Grundlage der folgenden Überlegungen. Seine Hypotenuse wird durch die Galaxiendistanz d gegeben. Die Ankathete markiert die x- und y-Komponenten der kartesischen Darstellung, die Gegenkathete deren z-Komponente:



Die Bestimmung der z-Komponente ist deshalb am einfachsten ($z = d \cdot \sin \delta$), für die x- bzw. y-Komponente muss zunächst die Länge der Ankathete bestimmt werden, daraus dann über den Winkel RA die beiden Komponenten. Das rechts aufgeführte Programm² bietet die Möglichkeit einer problemlosen Koordinatentransformation.

```

: locgr()
: Prgm
: Input „Deklination δ, Grad:“, m
: Input „Deklination δ, Minuten:“, a
: m+a/60→m
: Input „Rektaszension RA,
: Stunden:“, f
: Input „Rektaszension RA,
: Minuten:“, o
: -(f+o/60)*360/24→f
: Input „Entfernung:“, v
: v*cos(m) →g
: g*sin(f) →x
: g*cos(f) →y
: v*sin(m) →z
: Disp x,y,z
: EndPrgm
    
```

² Das Programm wurde für den CAS-Taschenrechner TI-92 geschrieben.

Der Bau von Modellen der Lokalen Gruppe

Zunächst wird aus den Daten der Tab. 1 und mit Hilfe der zuvor beschriebenen Berechnungen eine neue Tabelle (Tab. 2) geschaffen, in der die Positionen der Galaxien in kartesische Koordinaten angegeben werden. Für das Modell wurden dabei nur Galaxien mit einer Mindestgröße von 1 kpc berücksichtigt. Diese sind in der Tab. 1 dunkelblau markiert:

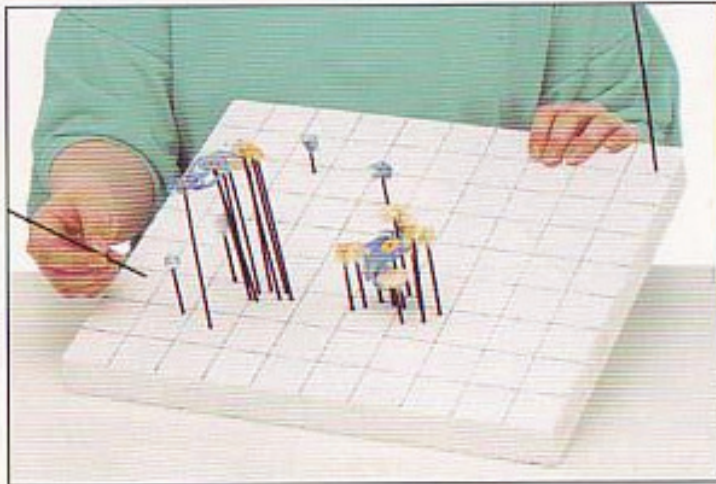
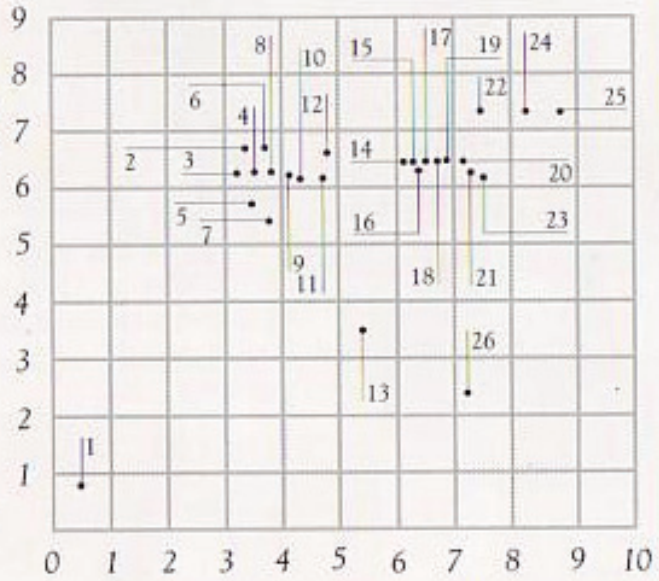
Katalognr.	Typ	Größe/kpc	d/kpc	x/kpc	y/kpc	z/kpc
WLM	Irr	3,3 · 1,1	940	-7,9	910	-236
IC10	Irr	1,4 · 1,2	660	-29	336	568
NGC147	E4	3,3 · 2,1	755	-72	495	566
NGC185	dE3	2,6 · 2,3	620	-10	60	617
M32	E2	2,5 · 1,6	770	-109	572	504
M31	Sb	41,4 · 16,8	770	-108	569	508
SMC	Irr	4,7 · 2,7	58	-4	17	-55
And IX	dE	1,1 · 1,1	780	-130	553	534
ScI	dE3	1,1 · 1,1	78	-17	64	-42
IC1613	Irr	4,2 · 3,8	715	-200	686	27
And X	dE0	1,6 · 1,6	790	-162	537	557
M33	Sc	16,6 · 10,3	850	-292	671	433
LMC	Irr	9,3 · 7,6	49	-19	3	-45
CMA	dE7	1,7 · 1,7	8	-7	-2	-4
Leo A	Irr	1,0 · 0,6	251	-300	-514	354
NGC3109	Irr	5,9 · 1,1	1260	-554	-989	-549
Sex A	dE4	2,5 · 2,1	1450	-663	-1287	-83
Dra	dE3	1,1 · 0,3	76	40	-7	64
Milchstraße	Sbc	30	0	0	0	0
NGC6822	Irr	2,4 · 0,5	540	472	238	-123

Tabelle 2

Die erhaltenen Werte für die Größen bzw. Positionen der Sternsysteme in der Einheit kpc können nun in modellspezifische Werte umgewandelt werden. Typischerweise wird man die Galaxienmodelle, die vorzugsweise aus Karton oder ähnlichen Materialien hergestellt sind, auf Stäbe kleben, deren Länge der z-Komponente der Galaxienkoordinaten entspricht. Unabhängig von den oben berechneten Werten findet sich ein Beispiel für ein solches Modell auf Seite 139 in [CH94] (siehe folgende Abb.). Leider ist dieses Buch inzwischen vergriffen. Die Basis für das Modell besteht aus einer Styroporplatte von 40 cm mal 36 cm, eingeteilt in 10 mal 9 Quadrate.

Spießhöhen (in Millimetern)

- | | |
|---------------------|---------------------|
| 1. GR8 = 210 | 15. M32 = 190 |
| 2. Leo I = 110 | 16. NGC 185 = 200 |
| 3. Leo II = 105 | 17. NGC 205 = 170 |
| 4. Sextans = 95 | 18. Andromeda = 180 |
| 5. Ursa minor = 120 | 19. A-II = 165 |
| 6. Carina = 80 | 20. A-I = 175 |
| 7. Draco = 125 | 21. A-III = 170 |
| 8. Milchstraße = 95 | 22. M33 = 175 |
| 9. S.M.C. = 80 | 23. WLM = 70 |
| 10. L.M.C. = 90 | 24. IC 1613 = 95 |
| 11. Sculptor 90 | 25. Pisces = 155 |
| 12. Fornax = 80 | 26. DDO 210 = 70 |
| 13. NGC 6822 = 80 | |
| 14. NGC 147 = 200 | |

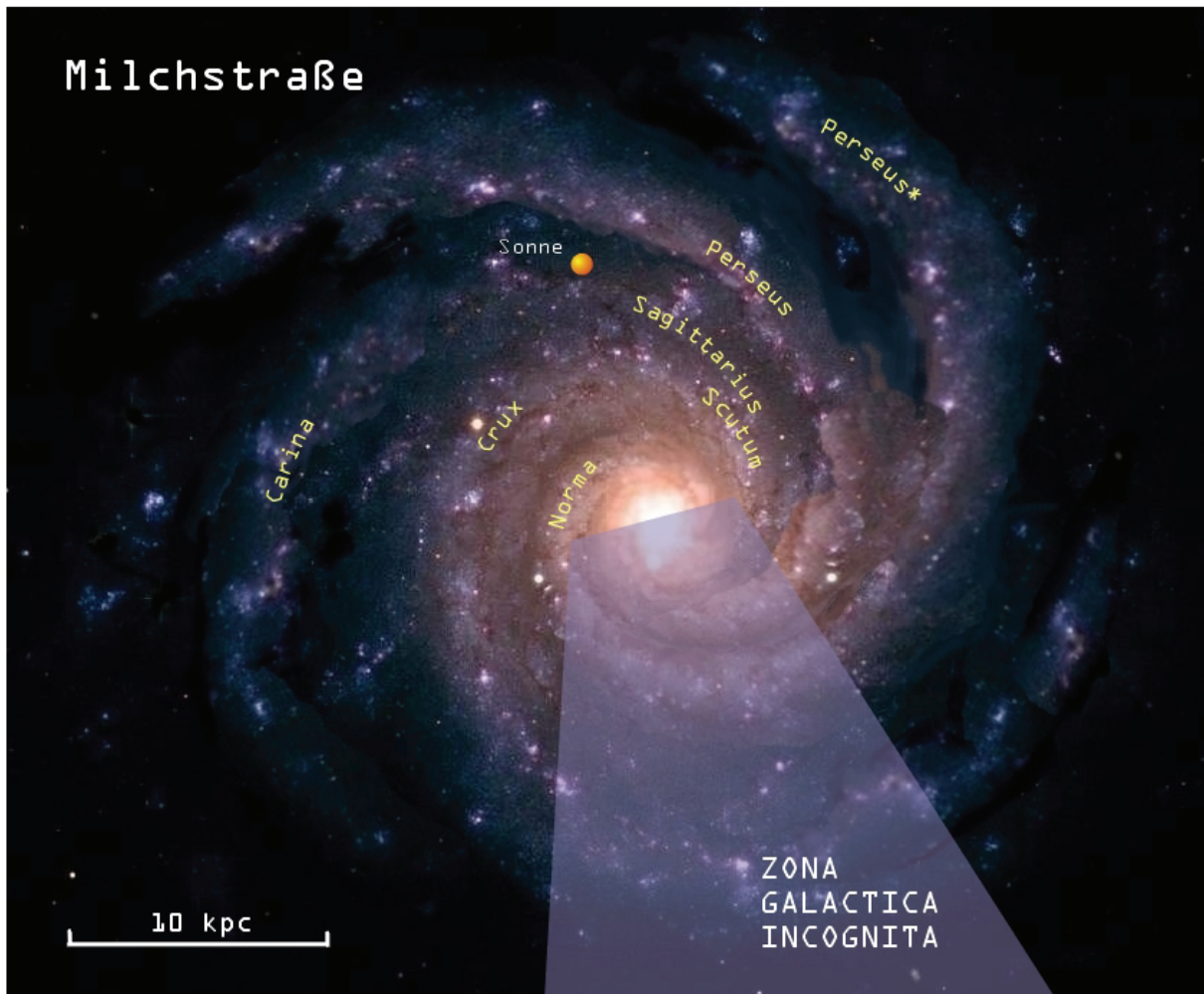


4 Steckt die Spieße in Styropor zu ihren genauen Positionen (siehe Grafik oben). So sieht eure Lokale Gruppe von außen aus. Sind die Galaxien darin gleichmäßig verteilt? Welche versammeln die kleineren um sich? Was meint ihr, an welcher Kraft das liegt?

Eine andere Möglichkeit der modellhaften Darstellung der Lokalen Gruppe soll im Folgenden vorgestellt werden. Dazu wird die traditionelle japanische Methode zur Darstellung von Architekturobjekten benutzt (beschrieben z. B. in [Ch90]), bei der aus einem einfach gefalteten Bogen Papier durch geschickte Schnitte und Falzungen Objekte hervorgehoben werden können. In der auf der letzten Seite dargestellten Schnitt- und Falzvorlage bedeuten durchgezogene Linien Schnitte, gestrichelte Linien Falzungen nach hinten und Strich-Punkt-Linien Falzungen nach vorn. Um das Modell nicht zu kompliziert zu gestalten, zeigt es den Raumbereich um die drei großen Galaxien M31, Milchstraße und M33. Dargestellt werden insgesamt zehn Galaxien, die in der Tabelle dieses Abschnitts dunkel unterlegt sind. Reizvoll ist es, die Schnitt- und Falzvorlage auf schwarzen Karton zu übertragen (s. Abbildung). Da die Andromedagalaxie von der Kante her gesehen wird und die Milchstraße von innen, können hier nur retuschierte und auf maßstabsgerechte Größe gebrachte Bilder von anderen Galaxien ähnlichen Typs verwendet werden.

Abschließend sei noch eine Darstellung eingefügt, die einen Überblick über die Struktur unserer eigenen Galaxie, der Milchstraße gibt:





Lernziele

Die Schülerinnen und Schüler sollen...

- sich mit der kosmologischen Struktur der Lokalen Gruppe vertraut machen.
- das astronomische Koordinatensystem kennen lernen.
- astronomische Koordinaten in kartesische Koordinaten transformieren.
- ein Programm zur Koordinatentransformation nachvollziehen oder selbst schreiben.
- verschiedene Typen von Galaxienmodellen herstellen.

Literatur

- [GK03] J. Grehn, J. Krause (Hrsg.): *Metzler Physik* (3. Auflage), Hannover 2003
 [CH94] Couper, Heather; Henbest, Nigel: *Das Weltall*, München 1994
 [Ch90] Chatani, Masahiro: *Origamic Architecture*, Tokyo 1990

Schnitt- und Falzbogen für das Modell der Lokalen Gruppe

