

Galaxien sind stabile rotierende Einheiten, wenn Gravitation und Fliehkraft dynamisch im Gleichgewicht stehen. Sind die Rotationsgeschwindigkeiten bekannt, so ist es möglich die Masse einer Galaxie angenähert zu berechnen.

Das Buch *Mathematische Reise durch die Galaxie* beschreibt das galaktische Gravitationsfeld geometrisch anschaulich anhand zahlreicher Diagramme.

Mathematische Reise durch die Galaxie

Ist die Dunkle Materie
ein galaktischer Spuk?

Alternative Thesen und
Berechnung zur
Rotation der Galaxie

Joachim Schmitz



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

Die *Radioastronomie* hat ihre riesigen Teleskope stetig weiterentwickelt und ist damit in der Lage, unsichtbare Staubwolken und interstellare Materie sichtbar zu machen. *Interstellare Materie* liefert den Baustoff zur Entstehung von Sternen und Planeten. Die Summierung der interstellaren Gase und Staubpartikel in der galaktischen Scheibe ergibt eine *gewaltige Masse*.

Interstellare Materie ist der unsichtbare „*Klebstoff*“ für die Stabilität der Galaxien.

Die *galaktische Massenbilanz* basiert auf aktuellen astronomischen Daten und fundiert die These: Im kosmischen Raum der Milchstraße ist keine Dunkle Materie erforderlich.



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag



Mathematische Reise durch die Galaxie

Die *Mathematische Reise durch die Galaxie* führt den Leser durch das Gravitationsfeld der Galaxie mit dem Zweck, deren Rotationsgeschwindigkeiten genauer zu analysieren. Worum geht es? Eines der gegenwärtig aktuellen Themen der Astrophysik betrifft die **Dunkle Materie**. Weil die **Rotationsgeschwindigkeiten** der Galaxie scheinbar nicht mit den physikalischen Gesetzen übereinstimmen, postuliert die Kosmologie die Existenz der Dunklen Materie. Demzufolge schildert die Astrophysik den Kosmos bestehend aus 15% bekannter Materie und 85% unbekannter „Dunkler Materie und Dunkler Energie“. Diese geheimnisvolle Substanz, deren Eigenschaften dem Astrophysiker nicht bekannt sind, wurde trotz gewaltiger Forschungsaufwendungen zu Lande, zu Wasser und im All bis auf den heutigen Tag nicht aufgespürt.

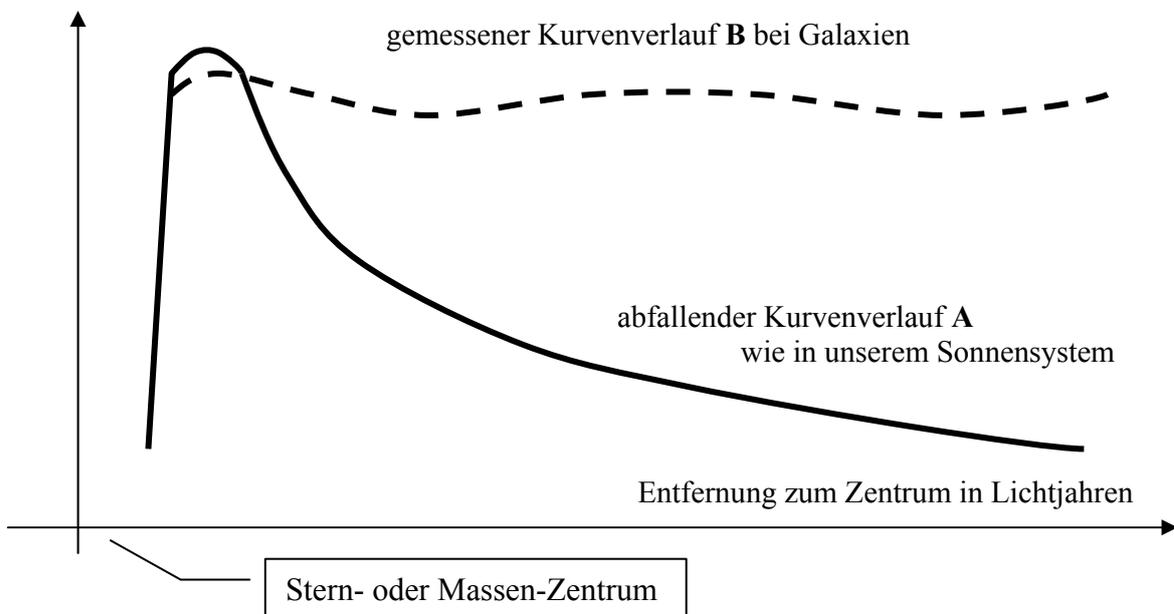
Unser Verständnis der dynamischen Abläufe in unserem Sonnensystem, in unserer Galaxis und darüber hinaus im Universum basiert auf dem Newton'schen Gravitationsgesetz. Das Gravitationsgesetz beschreibt die Kraft, mit der sich zwei Massen anziehen. Die Kraft heißt daher Massenanziehungskraft und ist abhängig von der Größe der Massen und ihrem Abstand.

$$F_z = G \times M_1 \times M_2 / R^2$$

Jeder Flugkörper, der von der Erde in den Weltraum startet, liefert einen Beweis für die Gültigkeit dieses Naturgesetzes. Nach diesem Gesetz gilt:

Je näher ein Flugkörper die Sonne umrundet, umso schneller ist seine Bahngeschwindigkeit. Umgekehrt gilt: Je weiter entfernt ein Flugkörper die Sonne umrundet, umso langsamer ist seine Bahngeschwindigkeit.

Rotationsgeschwindigkeit
in einer Galaxie



Die Gravitationskraft wird mit zunehmender Entfernung vom Massenzentrum immer schwächer, entsprechend dem Kurvenverlauf (A) in unserem Sonnensystem – siehe obige Abbildung. Die Rotationskurven für die Galaxie zeigen jedoch einen nahezu waagerechten Kurvenverlauf (B). Der Kurvenverlauf (B) bringt die Astrophysik in Erklärungsnot, da diese Charakteristik nicht mit dem Verlauf in unserem Sonnensystem übereinstimmt.

Das Buch beleuchtet dieses Thema unter einem neuen Blickwinkel. Es beschreibt die Unterschiede zwischen einem **zentrischen Gravitationsfeld** (zum Beispiel unser Sonnensystem) und dem **Schwerkraftfeld einer Galaxie**.

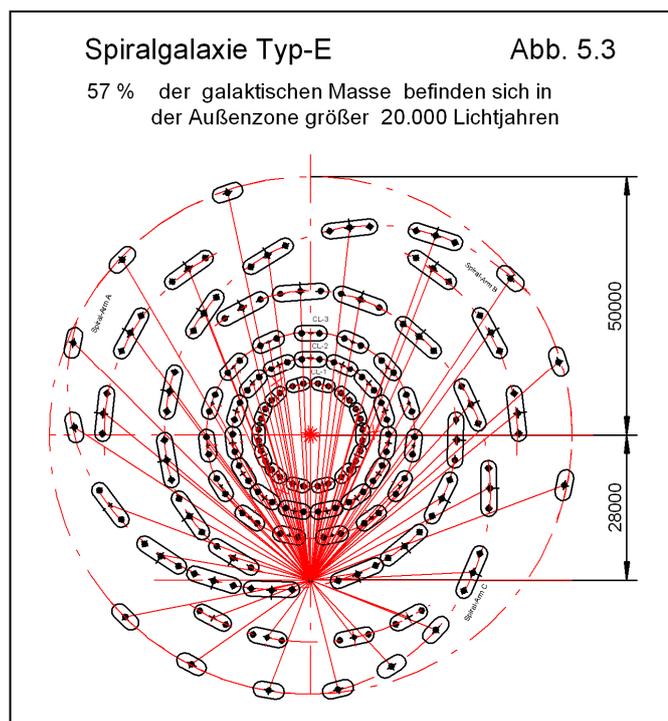
In unserem Sonnensystem ist nahezu die gesamte Masse, ca. 99%, in der Sonne konzentriert. In einer Galaxie ist jedoch ein erheblicher Teil der Masse im Umkreis von Zehntausenden von Lichtjahren auf die Scheibenebene verteilt. Dieser Sachverhalt ist hier beschrieben und wird anhand des Berechnungsmodells eindeutig geometrisch-mathematisch erfasst.

Die Sternmasse M_x kann nach der Gleichung: $M_x = R \times v^2 / G$ berechnet werden, wenn ein Planet diesen Stern auf einer Kreisbahn mit dem Radius R und der Geschwindigkeit v umrundet (G = Gravitationskonstante).¹ Die Gleichung basiert auf der Anziehungskraft zweier Massen (hier Stern und Planet) und ist nur gültig, wenn zwei Massen im Spiel sind, bzw. wenn die Massen anderer Objekte so klein sind, dass diese vernachlässigt werden können. Wird die obige Gleichung auch für die Berechnung galaktischer Massen angewendet, begibt man sich auf sehr dünnes Eis, da die Gleichung nur für zwei beteiligte Körper (oder Massen) gilt. Der Einfluss der Massen in der galaktischen Scheibe bleibt vollständig unberücksichtigt. Eine Galaxie gleicht aber einem Rummelplatz mit unzähligen Objekten, die großräumig über die gesamte Scheibenebene verteilt sind. In diesem **galaktischen Rummelplatz** darf der Einfluss der Massen in der Scheibenebene nicht vernachlässigt werden.

Stellen wir uns vor, unser Sonnensystem wäre bis zum Saturn angefüllt mit 1.000 Jupiter-Planeten, dann wäre die Masse im System verdoppelt, und davon wäre 50% großräumig verteilt. Der wechselseitige Einfluss der vielen Planeten würde in diesem System ein völlig anderes Gravitationsfeld erzeugen. In einem solchen System wären die Umlaufgeschwindigkeiten von Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter und Saturn nicht nur von der Masse der Sonne bestimmt, sondern gleichzeitig dem Einfluss von 1.000 Jupiter-Massen ausgesetzt. Ein solches Gravitationsfeld wirkt nicht ausschließlich zentrisch, da die äußeren beteiligten Massen einen erheblichen Einfluss ausüben.

Um den Einfluss der Gravitation in der galaktischen Scheibe mathematisch eindeutig zu erfassen, ist das galaktische Gravitationsfeld in Form von Kraftlinien dargestellt. Das Berechnungsmodell verteilt große Massenbrocken auf eine angenäherte Kreisscheibe, wobei jeweils zwei Brocken mit einer Kraftlinie verbunden sind. Wären diese Kraftlinien sichtbar, so ergäbe sich bildlich ein **Spinnennetz**. Im Modell steht dieses „Spinnennetz“ stellvertretend für das Gravitationsfeld. Jeder „Spinnfaden“ ist eine Kraftlinie zwischen zwei Massen, deren Anziehungskraft somit physikalisch eindeutig nach dem Newton'schen Gravitationsgesetz berechnet werden kann.

Eine Galaxie gleicht einem Spinnennetz verbunden durch unzählige, unsichtbare Zugseile.



¹ Durch einsetzen von $v = 2 \pi R / T$ (T = Umlaufzeit) in die Gleichung $M_x = R \times v^2 / G$ erhält man die Gleichung: $M_x = 4 \pi^2 R^3 / T^2 G$. Diese Formel findet man häufig in der Literatur mit Bezug oder Hinweis auf das dritte Kepler'sche Gesetz. Auch diese Formel berücksichtigt keine Masse in der galaktischen Scheibe. Es wird stillschweigend angenommen, dass die Umlaufzeit diesen Einfluss vollständig wiedergibt.

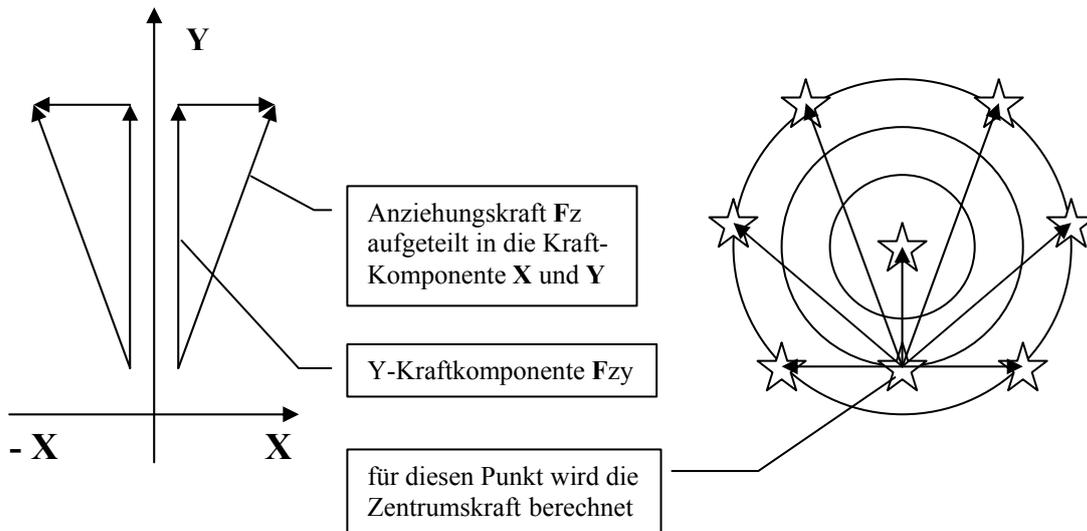
Struktur, Kraft-Vektoren und Geschwindigkeit

Alle Himmelsobjekte, seien es Sterne, Planeten oder Satelliten, bewegen sich in Gravitationsfeldern, und mit Kenntnis der Objektgeschwindigkeit ist es möglich ist, ihre Flugbahnen zu berechnen.

Für das Berechnungsmodell „Spinnennetz“ gelten folgende Annahmen:

Im Modell sind die Massenpunkte näherungsweise symmetrisch in einer Scheibenebene auf drei Ringbahnen und vier Spiralarmen einer Perlenkette gleich aufgereiht.

Eine symmetrische Massenverteilung hat den rechnerischen Vorteil, dass alle horizontal wirkenden Kräfte (gemeint ist X-Ordinate) sich gegenseitig aufheben und nur die aufs Zentrum gerichteten Kräfte (hier Y-Koordinate) zur Resultierenden (F_{zy}) addiert werden.



Aufgrund der rotierenden Struktur von Spiralgalaxien darf angenommen werden, dass die große Mehrzahl der Sterne und Sternhaufen einer kreisähnlichen Umlaufbahn folgt.

für kreisförmige Umlaufbahnen gilt: $F_z = m \times v^2 / R$

Die Rotationsgeschwindigkeit v kann aus der zentrisch wirkenden resultierenden Kraft: Summe F_{zy} berechnet werden.

$$v = \sqrt{\sum F_{zy} \times R / m}$$

Die Berechnung erfolgt geometrisch und rechnerisch. Die Galaxie ist einschließlich aller Massenpunkte maßstäblich mittels „Computer gestützter Konstruktion“ (CAD-System) dargestellt. Lage und Position der Massenpunkte (also ihre Abstände zum galaktischen Zentrum sowie die zugehörigen Winkelmaße) sind mittels CAD-Konstruktion mit hoher Genauigkeit bestimmt. Die Geometrie-Daten der Massenpunkte sind dann in ein Rechenprogramm (MS-Excel) übertragen und dort tabellarisch berechnet.

Milchstraße und Modelldaten für Spiralgalaxie

Das Berechnungsmodell ist in Anlehnung an spiralförmige Strukturen mit den heute bekannten Daten und Dimensionen der Milchstraße gewählt. Es wurde eine maßstäbliche Darstellung gewählt, die in Verbindung mit dem rechnerischen Ergebnis eine anschauliche Überprüfung der Zahlenkolonnen ermöglicht.

In der Fachliteratur findet man für unsere Milchstraße folgende astronomische Daten:

Masse der Galaxie = ca. 200 Milliarden x Sonnenmasse

Masse unserer Sonne: $M_{\text{sonne}} = 2 \times 10^{\text{hoch } 30} \text{ kg}$

Distanz unserer Sonne zum Zentrum unserer Galaxie = ca. 28.000 Lichtjahre (LJ)

Für einen vollständigen Umlauf um das Zentrum der Milchstraße benötigt unsere Sonne ca. 240 Millionen Jahre. Rotationsgeschwindigkeit unserer Sonne = ca. 220 bis 240 km/sec.

Für das Berechnungsmodell wurden folgende Daten angenommen.

Gesamtmasse der Galaxie = 190 Milliarden x Sonnenmasse

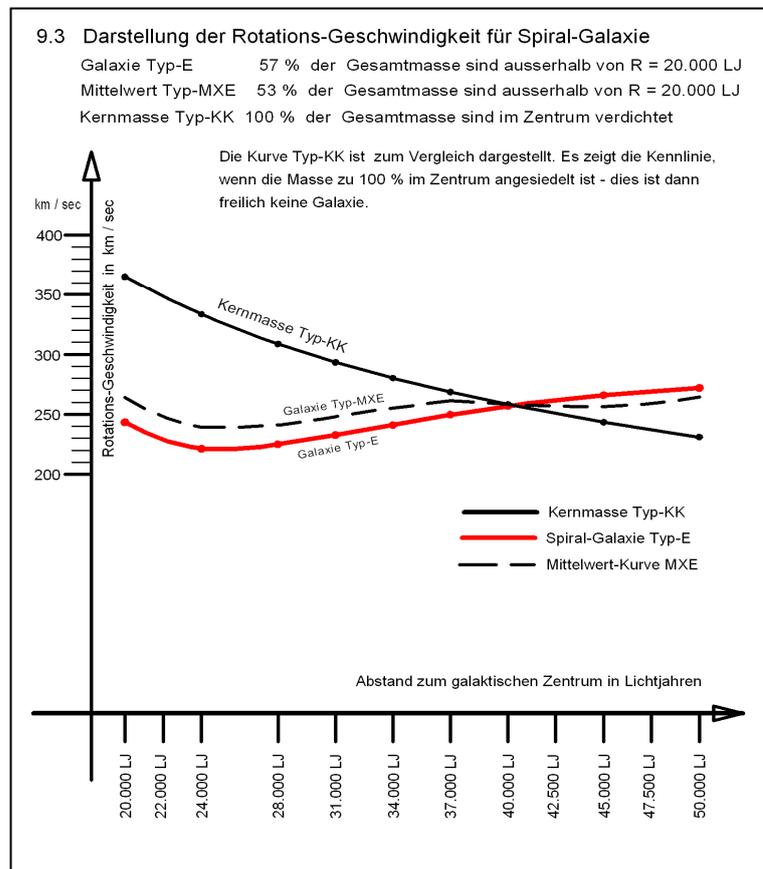
Durchmesser der Galaxie = 100.000 Lichtjahre

In der Modellrechnung ist die gesamte Masse auf einer Scheibenebene mit zweihundert Massepunkten aufgeteilt. Die Massenpunkte sind auf drei Ringzonen sowie auf drei Spiralarme und einem Spiralarm in der Zwischenzone verteilt. In Bezug auf Ausdehnung und Gesamtmasse sind die gewählten Daten mit unserer Heimatgalaxis, der Milchstraße vergleichbar. Durch diese Anordnung wird auch eine Ähnlichkeit mit typischen Spiralgalaxien dargestellt.

Im hier beschriebenen Berechnungsmodell sind zwei **Spiralgalaxien Typ-E** und **Typ-MXE** durchgerechnet und dargestellt, die hinsichtlich ihrer Gesamtmasse und Ausdehnung identisch sind, jedoch mit unterschiedlicher Massen-Verteilung.

- in der Galaxie Typ-E sind 57% der Gesamtmasse außerhalb $R = 20.000 \text{ LJ}$ angesiedelt
- in der Galaxie Typ-MXE sind 53% der Gesamtmasse außerhalb $R = 20.000 \text{ LJ}$ angesiedelt

Das Ergebnis ist als grafische Kurve im Diagramm 9.3 dargestellt. Das Diagramm zeigt die Rotationsgeschwindigkeit für ein zentrisches Gravitationsfeld – siehe Kurve-KK. Die Kurve Typ-E zeigt den Verlauf für ein galaktisches Gravitationsfeld. Die Gesamtmasse ist bei allen Kurven einheitlich.



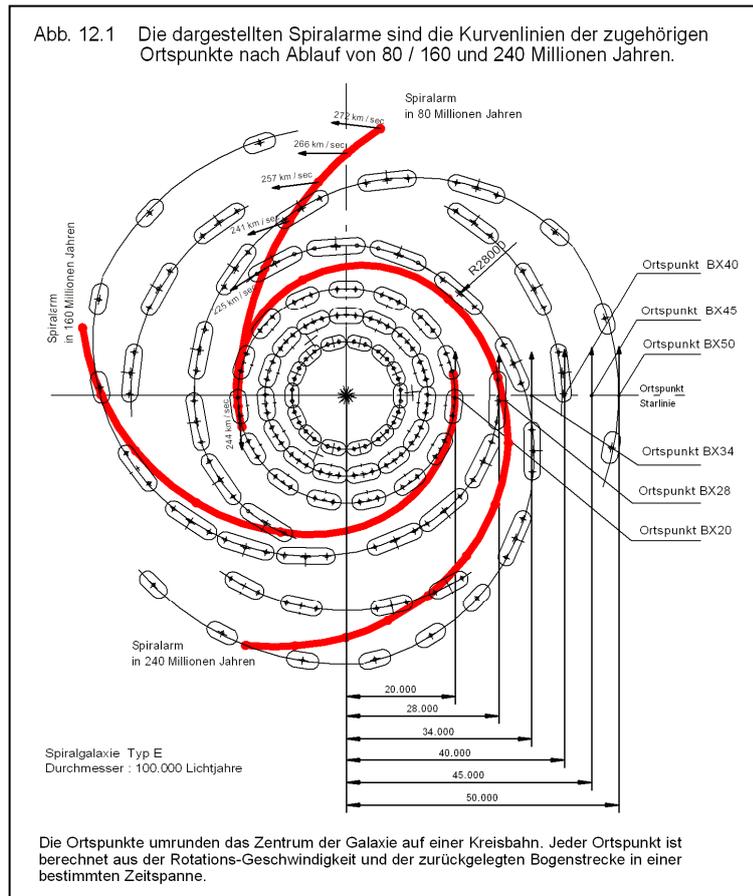
Ein galaktisches Gravitationsfeld, in dem ca. 50 % der Masse in der Scheibenebene angesiedelt sind, unterscheidet sich sehr wesentlich von einem zentrischen Gravitationsfeld. Die hohen Rotationsgeschwindigkeiten in der galaktischen Scheibe sind eine Folge der gedehnten Gravitationswirkung.

Unterschiedliche Massenverteilungen haben Einfluss auf die Rotationsgeschwindigkeit. Das vorliegende Berechnungsverfahren stellt diese Differenzen folgerichtig dar. Das Berechnungsmodell hat zum Ergebnis, dass das galaktische Gravitationsfeld ausreichend stark ist, um die rotierende Materie dauerhaft in kreisähnlichen Bahnen an die Galaxie zu binden. *Es wird keine zusätzliche Materie benötigt.*

Die physikalischen Gesetze der Gravitation sortieren die beteiligten Massen eines galaktischen Verbandes entsprechend ihrer Geschwindigkeit und geben der rotierenden Galaxie ihre Spiralstruktur.

Die Galaxie ist stabil, aber nicht statisch. Sie unterliegt aufgrund ihrer Rotation und differenter Bahngeschwindigkeiten einer ständigen „Durchmischung“.

Spiralstruktur der Galaxie Typ-E in 80, 160 und 240 Millionen Jahren



Berechnet man den Bogenwinkel, den die Ortspunkte im Zeitverlauf von 80 Millionen Jahren zurücklegen (dies ist etwa $\frac{1}{3}$ der Umlaufzeit, den die Sonne benötigt), dann wird erkennbar, dass die inneren Zonen die äußeren überholen. Zum Verständnis der Spiralstruktur wird folgende Annahme getroffen: Die Ortspunkte bewegen sich auf einer Kreisbahn, deren Radius und Geschwindigkeit der Galaxie Typ-E entspricht (bei Galaxie Typ-E sind 57% der Gesamtmasse in der Außenzone angesiedelt).

Zum Startbeginn liegen alle Ortspunkte auf einem Radialstrahl, als gedachte fiktive „Startlinie“. Jeder Ortspunkt (oder Massenpunkt) legt analog seiner Rotationsgeschwindigkeit eine bestimmte Bogenstrecke auf seiner zugehörigen Kreisbahn zurück. Nach Ablauf von 80 Millionen Jahren hat

jeder Ortspunkt eine bestimmte Bogenstrecke auf seiner Kreisbahn zurückgelegt. Der Schnittpunkt aus dem berechneten Bogenwinkel und der Kreisbahn ergibt den aktuellen Ortspunkt. Zeichnet man 80 Millionen Jahre nach Startbeginn eine Kurvenlinie durch die neun aktuellen Ortspunkte, so erhält man eine spiralförmige Kurve. Die dargestellten Spiralarme zeigen die Kurvenlinien nach Ablauf von 80, 160 und 240 Millionen Jahren.

Die Berechnung zeigt eine Spiralgalaxie mit den gewählten Parametern wie Gesamtmasse, Ausdehnung und Massenverteilung. Das Kraftfeld der Spiralgalaxie ist ausreichend stark, um die rotierenden Massen über viele Hunderte von Millionen Jahren auf stabilen kreisförmigen Umläufen an das System zu binden.

Aus einer rotierenden Scheibe entstehen nach „kosmischen“ Zeitabläufen spiralförmige Galaxien, wenn deren Gravitation ausreichend stark ist, um Materie über Hunderte von Millionen Jahren in eine Kreisbahn zu zwingen. Form und Anzahl der Spiralarme sind abhängig von der Massenverteilung sowie dem Zeitablauf und unterliegen einem stetigen Wandel.

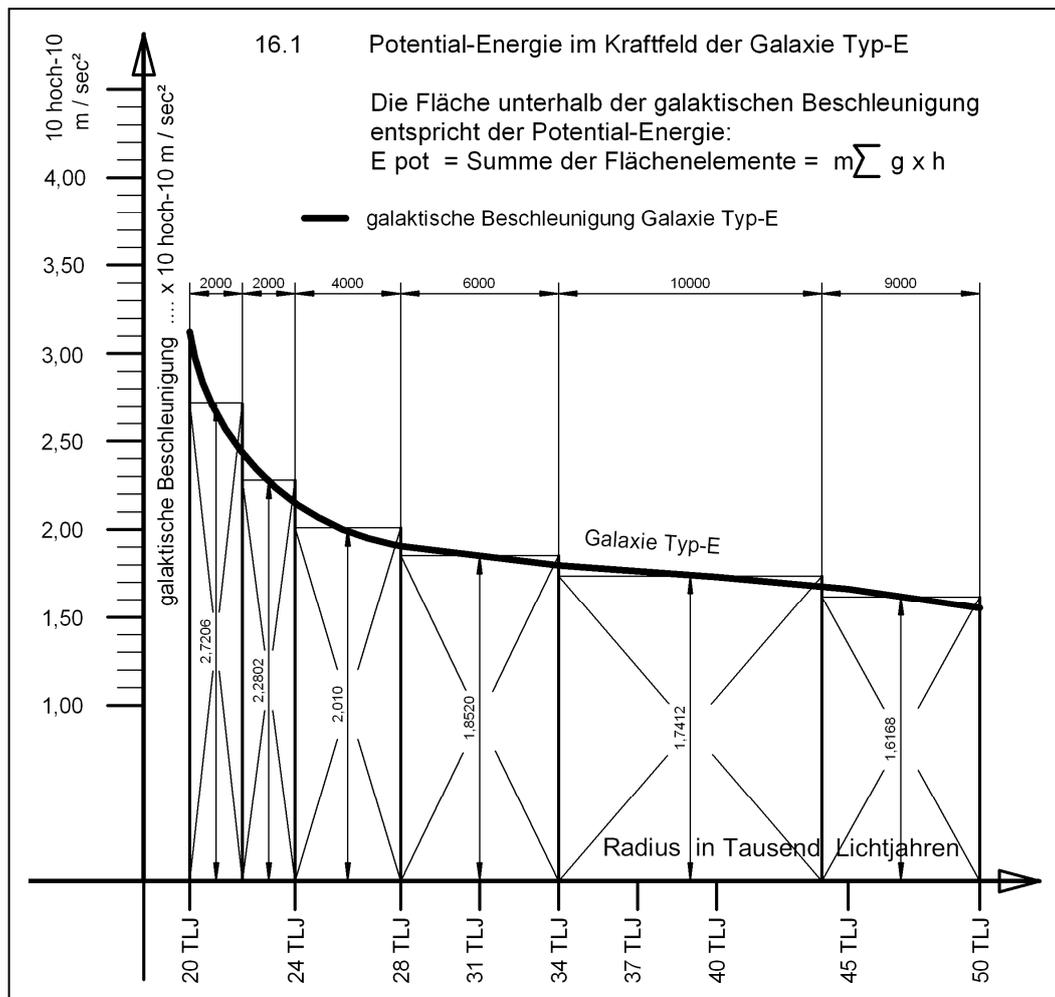
Reise durch die Galaxie Typ-E

Die Reise durch die Galaxie Typ-E soll von der Kreisumlaufbahn $R = 20.000$ Lichtjahre (LJ) starten, und das Raumschiff soll bis zum Rand der Galaxie $R = 50.000$ Lichtjahre fliegen. Um von dem inneren Bahnradius $R_i = 20.000$ LJ zum äußeren Bahnradius $R_a = 50.000$ LJ zu gelangen, muss dem Flugobjekt Energie zugeführt werden. Die dafür erforderliche potentielle Energie E_{pot} kann anhand der Diagrammkurve 16.1 ermittelt werden.

Das Kurven-Diagramm 16.1 zeigt die galaktische Beschleunigung für den Galaxie Typ-E. Die galaktische Beschleunigung ist eine physikalische Größe, vergleichbar mit unserer Erdbeschleunigung ($g = 9,81 \text{ m/sec}^2$). Die galaktische Beschleunigung g_e ist abhängig von der Entfernung zum Zentrum der Galaxie:

$g_e = f(R)$ für die Galaxie Typ-E und $R = 28.000$ LJ beträgt $g_e = 1,907 \times 10^{\text{hoch minus } 10} \text{ m/sec}^2$

Die Zahlenwerte für die galaktische Beschleunigung sind ungewöhnlich klein – bitte beachten: der Exponent (also die Hochzahl von 10) ist **minus** Zehn!



Die Diagramm-Werte sind spezifisch für die Masse $m = 1 \text{ kg}$.

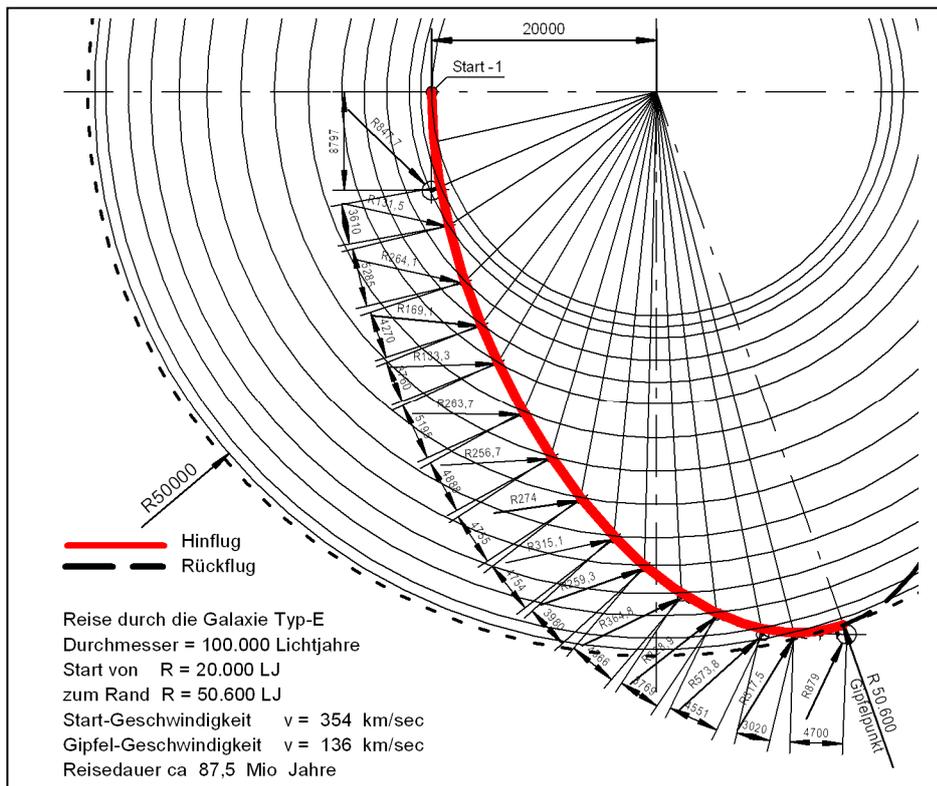
Berechnung der Startgeschwindigkeit

Die Fläche unterhalb der Kurve im Diagramm 16.1 entspricht der Potential-Energie E_{pot} . Die galaktische Beschleunigung ist abhängig vom Abstand R ($R = \text{Distanz zum Zentrum}$). E_{pot} wird durch Summierung der Flächenstreifen $g_x \cdot \Delta R$ berechnet, das Verfahren wird als numerische Integration bezeichnet.

$$E_{\text{pot}} = \sum_{R_i}^{R_a} \text{Masse} \cdot g_x \cdot (R_{x+1} - R_x) \quad \text{oder} \quad E_{\text{pot}} = \text{Masse} \int_{R_i}^{R_a} g_x \cdot dR$$

Außer zusätzlicher Impulsenergie zur Bahnkorrektur soll dem Flugobjekt während der Reise keine weitere Energie zugeführt werden. Zusätzliche Energie für Bahnkorrekturen wird bei dieser Berechnung vernachlässigt. In unserem Fall ergibt die Vorberechnung, dass die erforderliche Startgeschwindigkeit $v_{\text{Start}} = \text{ca. } 354 \text{ km/sec}$ beträgt. Die Geschwindigkeit von Flugobjekten auf der Kreisumlaufbahn $R = 20.000 \text{ LJ}$ beträgt 244 km/sec . Der fiktive Raketenantrieb muss also das Raumschiff um diese Geschwindigkeitsdifferenz erhöhen:

$$v_{\text{Start}} - v_{\text{Kreis}} = \text{ca. } 354 \text{ km/sec} - 244 \text{ km/sec} = \text{ca. } 110 \text{ km/sec}$$



Das Kraftfeld wird sinnvoll in Schwerkraftzonen unterteilt. Zur Bestimmung der Bahnpunkte wird für jede Zone die mittlere galaktische Beschleunigung und die jeweilige Bahngeschwindigkeit berechnet. Aus diesen Parametern werden die Bahnpunkte und Teilstrecken mathematisch und geometrisch analog einer Wurfparabel konstruiert. Die Anwendung des rechnerischen Näherungsverfahrens führt in Kombination mit der

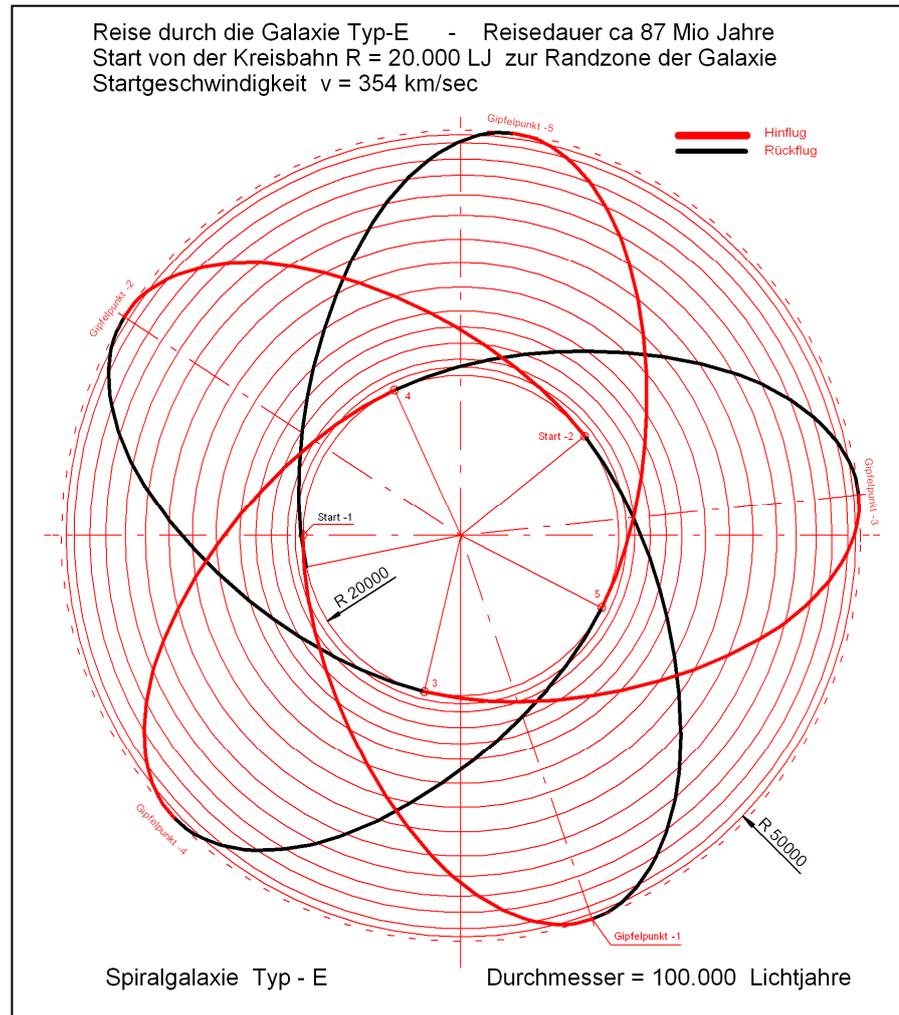
Konstruktion zu einem eindeutigen Ergebnis. Ist die Startgeschwindigkeit zu hoch gewählt, wird die Kurve zu steil und schießt über den Gipfel hinaus. Ist die Startgeschwindigkeit zu gering, dann wird die Bahnkurve zu flach und der Gipfelpunkt wird nicht erreicht. Die Flugstrecke beträgt ca. $69.000 \text{ Lichtjahre}$ und würde ca. $87,5 \text{ Millionen Jahre}$ dauern.

Galaktischer „Eiertanz“

Die konstruierte Flugbahn durch die Galaxie Typ-E zeigt ein Osterei beim „Eiertanz“. Die Flugbahnen ergeben sich, weil das Flugobjekt nach dem Rückflug zwar zum gleichen Ausgangsradius zurückkehrt, aber nicht auf seinem Ursprungsstartpunkt landet.

Flugobjekte in einer Galaxie, die von der Kreisbahn abweichen, folgen keiner elliptischen Kurve. Das gedehnte Kraftfeld der Galaxie verzerrt die Flugbahnen.

Dieses „gedehnte“ Kraftfeld wirkt in der gesamten Galaxie und zwingt Flugobjekte, die nicht auf Kreisbahnen umlaufen, zum „Eiertanz“.



Erkenntnis

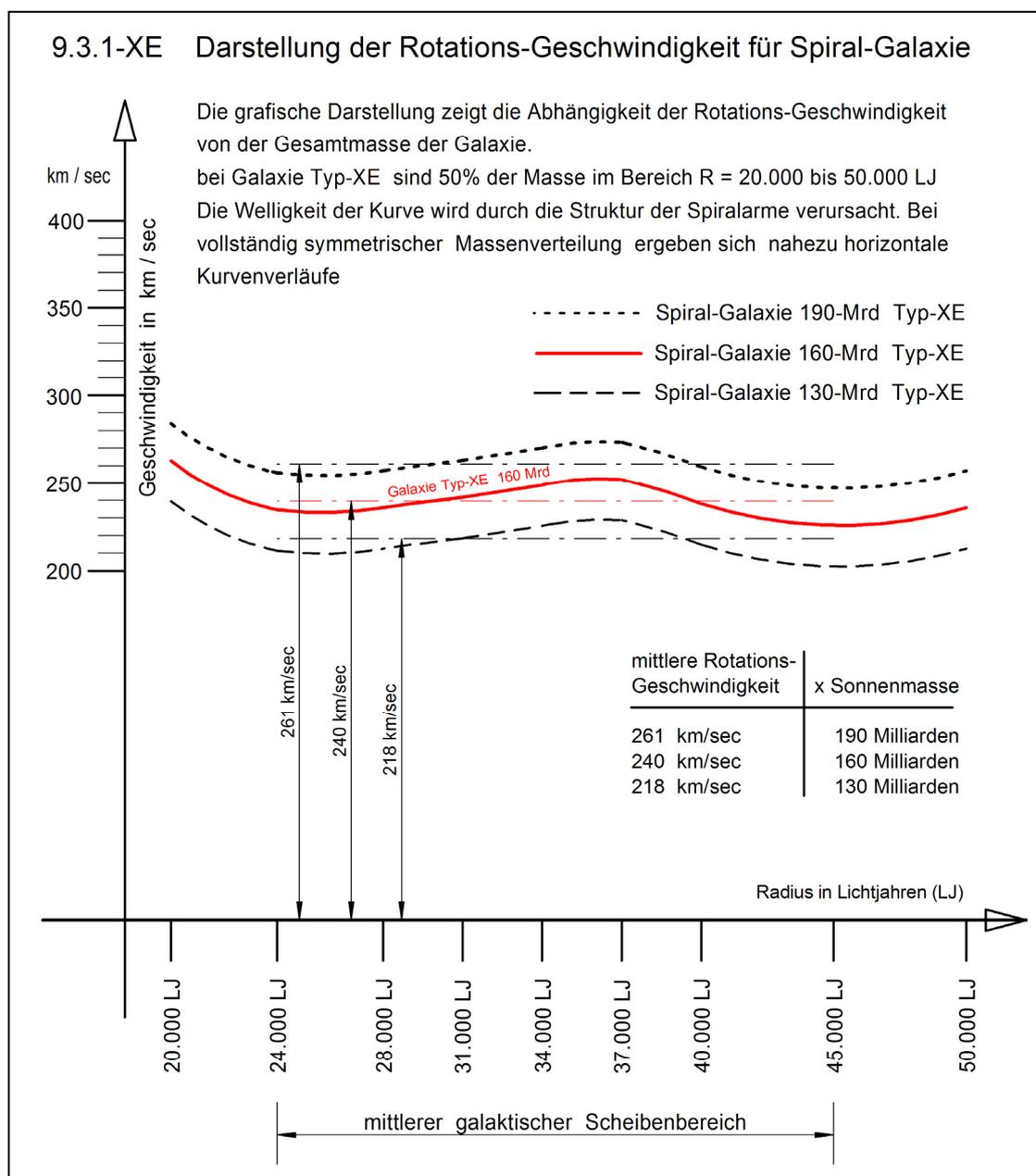
Das Schwerefeld von Galaxien erzeugt Flugbahnen in der Form von Eierkurven. Die Kepler'schen Planetengesetze gelten für Ellipsen, aber nicht für Eierkurven.

Überschlagsberechnung der Massenanteile in der Milchstraße (Stand 2014/2015)

Auf der Reise durch die Galaxie haben die Forscher viele interessante Erkenntnisse gewonnen. Zu diesen Entdeckungen zählt insbesondere die **interstellare Materie**, die sich den Augen der optischen Teleskope entzieht, aber durch die Antennen der Radioastronomie sichtbar wird. Der Radioastronomie ist es in den letzten Jahrzehnten gelungen, in die dunklen Molekülwolken, die für sichtbares Licht unpassierbar sind, hineinzuschauen. In diesen Molekülwolken aus Wasserstoff und Helium werden Sterne „geboren“, und die eingebetteten Staubwolken liefern die erforderlichen Baustoffe für die Entstehung von Planeten. Die Astrophysik blickt auf diese Weise in die „kosmische Kinderstube“ und zeigt uns faszinierende Bilder wie aus den Kindertagen unseres Sonnensystems. Diese „Kinderstube“ ist zum Beispiel im *Spektrum der Wissenschaft* Ausgabe 2/14 – Physik Mathematik Technik „Das wechselhafte Leben der Sterne“ von Dr. Ralf Launhardt (Forscher am Max-Planck-Institut) sehr anschaulich beschrieben.

Interstellare Materie als Klebstoff

Der galaktische Raum zwischen den Sternen beinhaltet Gase, die vorwiegend aus Wasserstoff und Helium sowie kosmischem Staub bestehen, und kennzeichnet die interstellare Materie (lat. inter stella = zwischen Sternen). Es gibt in diesem Raum u.a. riesige Molekülwolken, die das Sternlicht hinter diesen Wolken teilweise verschlucken oder vollständig absorbieren. Summiert man die interstellare Materie in der galaktischen Ebene, so ergeben sich gewaltige Massen, deren Gravitation als Klebstoff wesentlich zur Stabilität der Galaxie beiträgt. Im diesem Artikel ist untersucht, inwieweit die getroffenen Annahmen für das Berechnungsmodell zutreffen. Es ist allgemeiner wissenschaftlicher Konsens, dass die galaktischen Rotationsgeschwindigkeiten im Zusammenhang mit ihrer Kurven-Charakteristik eindeutige Kennwerte liefern, aus denen die Gesamtmasse der Galaxie angenähert ermittelt werden kann. Das folgende Diagramm ist aus den Daten erstellt, die in dem Buch „Mathematische Reise durch die Galaxie“ ermittelt wurden.



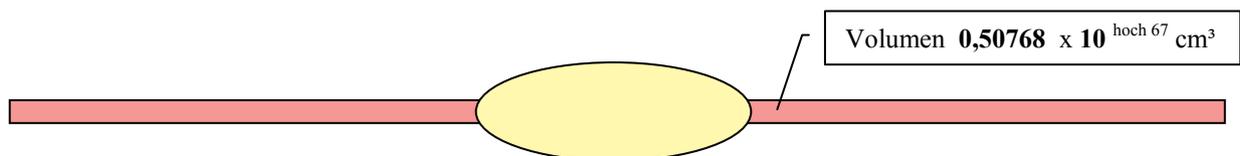
Eine Galaxie mit dem Durchmesser $D = 100.000$ Lichtjahren und einer mittleren Rotationsgeschwindigkeit $v_m = \text{ca } 225 \text{ km/sec}$ hat dem Diagramm (Abb. 9.3.1-XE) zufolge eine Masse von ca. 140 Milliarden x Sonnenmasse (Sonnenmasse = $2 \times 10^{\text{hoch}30} \text{ kg}$). Die Masse verteilt sich hälftig also zu 50 % auf das Zentrum und zu 50 % auf die galaktische Scheibe. Auf der Basis von aktuellen Daten über leuchtende Materie und interstellare Materie ist es möglich, die Massen zu bilanzieren. Die Bilanzierung bezieht sich u.a. auf den oben erwähnten Artikel im *Spektrum der Wissenschaft* von Dr. Ralf Launhardt, der Rückschlüsse über die Massenanteile in unserer Galaxis, also der Milchstraße erlaubt.

Zitat: *Allein in unserer Galaxie gibt es mindestens 100 Milliarden Sterne.* Das Gas in der Milchstraße besteht zu 70 Prozent aus Wasserstoff, zu 29 Prozent aus Helium und nur zu einem Prozent aus schweren Elementen. Etwa die Hälfte davon ist relativ gleichmäßig und mit **einem Atom pro Kubikzentimeter** extrem dünn verteilt. Der Rest formt Wolken, die immerhin etwa 200-mal dichter sind, so dass sich einzelne Wasserstoffatome zusammenfinden und zu Molekülen verbinden können. Diese Molekülwolken füllen aber bloß 0,3 Prozent des gesamten Raums, und Sterne entstehen nur in den dichten Wolkenkernen. Erstaunlicherweise scheint die Verteilung der Sternmassen nicht von Wolke zu Wolke zu variieren, sondern relativ universell zu sein. Massearme Sterne entstehen immer sehr viel häufiger als massereiche. Auf 20 sonnenähnliche Sterne kommen etwa 100 leichte Exemplare mit nur 0,1 Sonnenmassen – aber nur ein einziges Schwergewicht mit zehnfacher Sonnenmasse. Zitat Ende

Der Artikel im *Spektrum der Wissenschaft* erlaubt, die Massen in der galaktischen Scheibe überschlägig zu berechnen:

sichtbare Sterne in der Galaxie	= 100 Milliarden Sterne
davon 16,5 % sonnenähnliche Sterne	= 16,5 Mrd. x Sonnenmasse
davon 82,5 % Sterne haben 1/10-fache Sonnenmasse	= 8,2 Mrd. x Sonnenmasse
davon 1 % Sterne haben 10-fache Sonnenmasse	= 10 Mrd. x Sonnenmasse
sichtbare Sterne in der galaktischen Scheibe Summe	ca. 34,7 Mrd. x Sonnenmasse

Galaktische Scheibe: $D = 100.00 \text{ LJ} / d = 24.000 \text{ LJ} / \text{Dicke} = 800 \text{ LJ}$



Volumen der galaktischen Scheibe = $0,50768 \times 10^{\text{hoch } 67} \text{ cm}^3 = 100 \%$
 Masse des Elementes = Anteil x Volumen x Dichte x Atomgewicht (abs.)

	anteiliges Volumen	Volumen $\times 10^{\text{hoch } 67} \text{ cm}^3$	Dichte Atome/cm ³	Atomgewicht (abs.) $\times 10^{\text{hoch } -27} \text{ kg}$	Masse $\times 10^{\text{hoch } 40} \text{ kg}$
interstellares Gas					
Wasserstoff	70 %	0,355376	1	1,6735	0,59472
Helium He4	30 %	0,152304	1	6,6465	1,01229
Molekülwolken					
Wasserstoff	0,003 x 70 %	0,001066	200	1,6735	0,35683
Helium	0,003 x 30 %	0,000457	200	6,6465	0,60737
Silizium-Oxide	50 %	0,25384	0,1 Moleküle	152,8600	3,88020

interstellare Gase und Molekülwolken und Staub → **Summe = $6,4514 \times 10^{\text{hoch } 40} \text{ kg}$**

$6,4514 \times 10^{\text{hoch } 40} \text{ kg} / 2 \times 10^{\text{hoch } 30} \text{ kg}$ (Sonnenmasse) = $3,22 \times 10^{\text{hoch } 10}$ x Sonnenmasse
 32,2 Mrd. x Sonnenmasse + 2,8 Mrd. ausgeglühte Sterne etc. = 35 Mrd. x Sonnenmasse

Bilanz der galaktischen Massen

Masse im Zentrum	70 Milliarden x Sonnenmasse	50,0 %
sichtbare leuchtende Materie:	35 Milliarden x Sonnenmasse	25,0 %
Masse der interstellaren Gase	8 Milliarden x Sonnenmasse	5,7 %
Masse der Molekülwolken	5 Milliarden x Sonnenmasse	3,6 %
Masse galaktischer Staub	19 Milliarden x Sonnenmasse	13,6 %
Masse ausgeglühte Sterne	3 Milliarden x Sonnenmasse	2,1 %

Gesamtmasse der Galaxie	140 Milliarden x Sonnenmasse	100 %

Wie belastbar sind diese Daten?

Es stellt sich die Frage, wie genau kann die Astrowissenschaft die leuchtende Masse und die Dichte der interstellaren Materie bestehend aus Gasen und Staub bestimmen? Wie fundiert sind die getroffenen Annahmen, die der Massenbilanz zugrunde liegen?

Die Astrophysik kann ihre Objekte nicht mit der Apothekerwaage auswiegen, deshalb hat die Astronomie ausgefeilte, sehr spezielle Methoden entwickelt, aus denen brauchbare Daten gewonnen werden. Es liegt aber in der Natur der Sache, dass die Bilanz auf Hochrechnungen und Annahmen basiert, die aus Indizien abgeleitet sind und laufend aktualisiert werden.

Die sichtbare Sternenmasse in den Galaxien ermittelt die Astrophysik durch eine Vielzahl von vergleichenden Messungen aus der Relation von Distanz, Leuchtkraft und Licht-Absorbtion. Die Leuchtkraft wird mit zunehmender Distanz (Faktor $1/R^2$) geringer und zusätzlich durch interstellare Gase und Staub unterschiedlich geschwächt.

Für Galaxien beträgt das übliche **Masse-Leuchtkraft-Verhältnis** $M/L = \text{ca. fünf bis zehn}$. Die große Bandbreite beim M/L -Verhältnis wird verständlich, wenn man Fotografien von Galaxien vergleicht. Es gibt z.B. ausgefranzte Galaxien mit großen leeren Räumen zwischen den Spiralarmen und sehr kompakte Galaxien, die viel Leuchtkraft enthalten. In dem vorliegenden Rechnungsbeispiel beträgt das Verhältnis $M/L = 140/35 = 4$ und enthält verhältnismäßig viel Leuchtkraft.

Interstellare Gase und Molekülwolken

Sehr erstaunlich ist, dass die interstellaren Gase, Molekülwolken, galaktischer Staub und ausgeglühte Sterne in der Massenbilanz 35 Milliarden x Sonnenmasse ergeben. Diese Massen addieren sich, wenn die Dichte des interstellaren Gases (1 Atom/cm^3) und die Molekülwolken ($\text{ca. } 200 \text{ Atome / cm}^3$) sowie der Staubanteil auf das riesige Volumen der galaktischen Scheibe hochgerechnet werden.

Zitat aus dem *Lexikon der Physik* – Wikipedia

*Das interstellare Gas wird durch die Gesamtheit aller Atome, Ionen, Moleküle und freien Elektronen gebildet, wobei die Dichte des Gases im allgemeinen sehr gering ist und nur etwa ein Atom pro cm^3 beträgt. Das neutrale Gas ist überall in der Milchstraße aufgrund der 21-cm-Linie *) im Radiobereich zu beobachten.....*

Die chemische Zusammensetzung des interstellaren Gases entspricht weitgehend der allgemeinen kosmischen Elementhäufigkeit, wobei jedoch lokale Abweichungen möglich sind. Ausnahmen bestehen da, wo neben Gas auch große Staubmengen vorliegen. Die aus 21-cm-Beobachtungen erschlossene großräumige Verteilung des Gases in der Milchstraße hat die Form einer Scheibe, deren Dicke etwa 200 pc beträgt. In der Gasverteilung zeichnet sich auch die Spiralstruktur der Milchstraße ab. Zitat-Ende

laut obiger zitierter Quelle gilt:

- Dichte des interstellaren Gases = **1 Atom / cm³**
- die Scheibendicke der Gasverteilung ist beziffert mit **200 pc = 652 Lichtjahre**
(1 pc = 1 parsec = 3,26 Lichtjahre);

Die Übergänge zwischen galaktischer Scheibe und dem kosmischen Raum darf man sich jedoch nicht als scharfe Grenzflächen vorstellen, sondern eher wie den Übergangsbereich zwischen unserer Erdatmosphäre und dem Weltraum. In der Massenbilanz ist eine **Scheibendicke von 800 Lichtjahren** angenommen, um somit den Übergangsbereich angenähert rechnerisch zu erfassen. Die Molekülwolken haben eine durchschnittliche Dichte von 200 Atomen pro cm³ und füllen 0,3 % des galaktischen Raumes im wesentlichen mit Wasserstoff und Helium.

Interstellare Materie im Fokus der Radioastronomie

Die Radioastronomie verfügt über Antennen mit 100 m Durchmesser, die relativ feine Auflösung liefern und Dichte-Differenzen in einem nahezu leeren Raum über weite Distanzen lokalisieren. Das Radioteleskop Effelsberg in Bad Münstereifel zählt zu den leistungsfähigsten Instrumenten dieser Art. Das Max-Planck-Institut für Radioastronomie (MPIfR) forscht seit 1972 im Weltraum nach kalten Gas- und Staubwolken in den Brutstätten von Sternen sowie nach Pulsaren und nach schwarzen Löchern mit Jetsteams in den Kernzentren von Galaxien.



Radioteleskop Effelsberg

Neutrale Wasserstoffatome strahlen auf einer Wellenlänge von 21 cm im Radio-Frequenzband. Nur langwellige kosmische Strahlung außerhalb des optischen Frequenzbereiches kann die galaktischen Molekülwolken passieren. Diese Strahlung sendet extrem schwache Signale, die in riesigen Parabolantennen gebündelt und verstärkt werden.

Molekülwolken – Geburtsorte der Stern-Entstehung

Die Radioastronomie hat seit ca. 1950 zahlreiche riesige Antennen errichtet und konnte so das Geheimnis der Molekülwolken entschlüsseln. Diese Molekülwolken sind Ansammlungen aus kosmischer Materie, die sich aus vorhandenen interstellaren Gasen durch Gravitation zu riesigen Haufen verdichtet haben. In diesen Haufen entwickeln sich mit zunehmender Konzentration aktive „Brutstätten von Sternen“.

Galaktischer Staub – Baustoff für die Planeten

Laut *Lexikon der Physik* (Wikipedia) bildet interstellarer Staub den Hauptbestandteil der interstellaren Materie und besteht aus kleinen, meist länglichen Partikeln in der Größe von 0,01 bis 1 Mikrometer (1 Mikrometer = 0,001 mm). Die Staubscheibe ist räumlich in der galaktischen Ebene konzentriert und hat gemäß aktueller Erkenntnisse ungefähr eine **Dicke von 100 parsec = 326 Lichtjahre**. Demzufolge ist etwa die Hälfte des interstellaren Volumens mit Gas und Staub vermischt.



Pacman Nebula NGC 281 ca. 10.000 Lichtjahre von unserem Sonnensystem entfernt in der Sternkonstellation Cassiopeia.

Staub macht sich durch Eintrübung, Streuung oder Absorption des Sternlichtes bemerkbar. Durchquert das Licht eines Sternes eine interstellare Staubwolke, so wird es abgeschwächt, verliert an Helligkeit oder wird infolge von der Streuung verfärbt. Der interstellare Staub ist nicht nur in Wolken angesiedelt, sondern großräumig mehr oder weniger homogen in der Scheibe der Milchstraße verteilt. Die Astronomie ermittelt den Verlust der Lichtintensität (Extinktion) durch Vergleich von Lichtquellen gleicher Distanz mit Sternfeldern, die durch Staubwolken getrübt sind. Chemisch bestehen die

Staubpartikel überwiegend aus **Silikaten** (Silizium-Oxyd-Verbindungen) sowie Kohlenstoffoxide und Ammoniak. Das Atomgewicht von Silizium ist ca. 28 x größer als Wasserstoff. Silikate, also Silizium-Oxid-Moleküle (Si-O_4) sind zum Vergleich 91 x schwerer als ein Wasserstoff-Atom. Unsere Erdkruste besteht zu 90 % aus Silicaten, und diese sind u.a. Bestandteile von zahlreichen Mineralen wie Quarz (Si-O_2) Feldspat, Tonminerale etc. Da Staub der Hauptbestandteil der interstellaren Materie ist und winzige **Silikat-Moleküle 90-fach schwerer als Wasserstoff** sind, summieren sich diese Partikel bereits bei sehr geringer Dichte zu gewaltigen Massen. Über die galaktische Dichte dieser winzigen Staubpartikel finden sich in der Literatur keine einheitlichen Angaben. Für die Berechnung der interstellaren Staubmaterie sind **Silikat-Oxide** mit einer Dichte von **0,1 Moleküle pro cm^3** in einer Scheibendicke $s = 400$ **Lichtjahren** angenommen. Als Richtwert für die Staubbichte wurde gewählt: 0,1 Silikat-Moleküle/ cm^3 .

Die Angaben der Fachliteratur dürfen als hinreichend akzeptabel gelten und erlauben es, die interstellare Materie aus Wasserstoff, Helium und Staub auf das galaktische Volumen hochzurechnen.

Anmerkung zur Dunklen Materie

Die Astrowissenschaft ist mehrheitlich der Auffassung, dass Galaxien von Hüllwolken (Halo) aus dunkler, unsichtbarer Materie umgeben sind, die fehlende Materie liefern soll. Gegenwärtig postuliert die etablierte Gemeinde der Kosmologie die Existenz Dunkler Materie, um die Stabilität der Galaxie zu erklären. Eine Minderheit der Forscher vertritt die Auffassung, das Gravitationsgesetz müsste bezogen auf große Skalen (bei Entfernungen über Tausende von Lichtjahren) modifiziert werden. Gleichzeitig werden die rätselhaften dunklen Teilchen weltweit steckbrieflich gesucht. Es handelt sich um einen „Forschungskrimi“, bei dem in alle Richtungen mit großem technischem Einsatz ermittelt wird. Um Mißverständnisse auszuschließen sei betont, dass interstellare Materie teilweise aus dunklen Molekül- und Staubwolken besteht. Diese Materie darf nicht mit Dunkler Materie verwechselt werden. Wasserstoff, Helium, Kohlenstoff, Sauerstoff, Silizium bzw. alle Atom-Elemente unseres vollständigen Periodensystems, egal ob leuchtend oder dunkel, sind **definitiv keine Dunkle Materie**. Die Dunkle Materie ist ein physikalisches Phantom für den Ersatz fehlender Masse mit unbekannter physikalischer Eigenschaft bzw. Identität.

Teilchenbeschleuniger LHC / Genf

Die derzeit weltgrößte Maschine ist der Teilchenbeschleuniger LHC (Large Hadron Collider) mit einem unterirdischen Ringtunnel (Umfang 27 km) in Genf. Dort werden Atomkerne in gewaltigen

Magnetfeldern auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigt und gegenseitig beschossen. Die Teilchenphysiker erforschen die freigesetzte hochenergetische „**Trümmerstrahlung**“, die von **kollidierten Atomkernen** emittiert wird und „kosmische Blitze“ erzeugt, die mit Sprühfunken von Wunderkerzen vergleichbar sind. Riesige Detektoren erfassen diese „Trümmerstrahlung“, die kurzzeitig den Zustand des „**Urknall-Plasma**“ abbilden. Diese Strahlenblitze erzeugen eine unglaubliche Datenfülle, die in einem Computer-Netzwerk global ausgewertet wird. Es ist eine wissenschaftliche Detektivarbeit, um in diesem Blitzchaos Dunkle Materie auf indirektem Wege zu identifizieren. Es ist nicht selten, dass z.B. Strahlung aus unbekannter Quelle als Dunkle Materie fehlinterpretiert wird – alle Sensationsmeldungen dieser Art konnten wissenschaftlich nicht bestätigt werden. Bisher wurde in keinem Kernforschungsreaktor Dunkle Materie gefunden. Es ist aber naheliegend, in dem „Urknallplasma“ des LHC nach Spuren dieser rätselhaften Substanz zu forschen.

Mikrokosmos der Quantenphysik

Im „Mikrokosmos der Quantenphysik“ gibt es sehr seltsame physikalische Parallelzustände, die mit unserer Alltagserfahrung nicht begreifbar sind. Kann ein Vakuum plötzlich in einen Energiezustand verfallen? Aufgrund der Äquivalenz von Energie und Masse ($E = m \times c^2$) würde in diesem Vakuum aus dem Nichts heraus Masse entstehen. Bei diesem Thema verschwimmen die Grenzen zwischen gesicherter physikalischer Kenntnis und Hypothese. Gibt es hier eine Erklärung oder einen Zusammenhang mit Dunkler Materie? Vielleicht liefern gegenwärtig laufende Experimente mit dem LHC-Teilchenbeschleuniger eine Antwort auf die Herkunft und die Existenz Dunkler Materie. Es ist aber auch nicht ausgeschlossen, dass die Kosmologie neue Theorie-Modelle entwickeln muss.

Fazit der Massenbilanz

Das Diagramm 9.3.1-XE liefert Richtwerte über galaktische Massen in Abhängigkeit von der Rotationsgeschwindigkeit und dem Radius. Die Ermittlung der Massen in galaktischen Systemen ist vergleichbar mit einem Mosaik-Bild, das aus vielen einzelnen Elementen besteht. Die Physik liefert dazu die theoretischen Werkzeuge, die Astronomie die leuchtenden Bausteine, und die Radioastronomie durchleuchtet die interstellaren Gaswolken. Es bleibt anzumerken, dass die Bilanzrechnung auf aktuellen Forschungserkenntnissen basiert, die hier lückenlos zu einem vollständigen Puzzle gefügt sind – mit folgendem Ergebnis:

70 Mrd x Sonnenmasse = 50 % Masse im Zentrum
 35 Mrd x Sonnenmasse = 25 % sichtbare, leuchtende Materie (Masse)
 35 Mrd x Sonnenmasse = 25 % Materie aus interstellarem Gas und Staub

Die interstellare Materie enthält Wasserstoff und Staub. Wasserstoff ist der notwendige Rohstoff für die Stern-Entstehung in den Molekülwolken, und der vorhandene Staub liefert alle Zutaten für die Elemente, aus denen Gesteinsplaneten (wie z.B. unsere Erde) entstehen können. Zwar ist die interstellare Materie extrem dünn in der Scheibe verteilt, aber diese Partikel summieren sich zu einem riesigen Masse-Potential mit erheblicher Gravitationswirkung für die gesamte Galaxie. Das Ergebnis ist deshalb so interessant, weil die hohen Rotationsgeschwindigkeiten in der Galaxie rechnerisch vollständig ohne jegliche Anwesenheit von Dunkler Materie erklärt werden.

Gemäß obiger Bilanz liefert der Anteil der interstellaren Materie, großräumig eingebettet in die galaktische Ebene, zusammen mit der sichtbaren Materie ausreichende Gravitation zur Stabilität der Galaxie. Die Galaxie besitzt demzufolge ausreichende Masse, um das galaktische Verbundsystem über viele Hunderte Millionen Jahre ohne Dunkle Materie stabil zu halten.

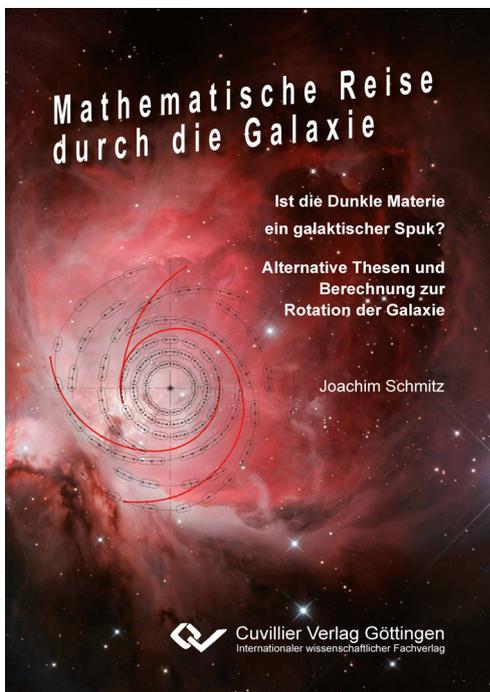
Eines der gegenwärtig aktuellen Themen der Astronomie und Physik betrifft die **Dunkle Materie**. Weil die gemessenen **Rotationsgeschwindigkeiten** innerhalb der Galaxie scheinbar nicht mit den physikalischen Gesetzen übereinstimmen, postuliert die Astrophysik die Existenz einer solchen.

Das Buch *Mathematische Reise durch die Galaxie* beleuchtet dieses Thema unter einem neuen Blickwinkel. Es beschreibt die Unterschiede zwischen einem **zentriscen Gravitationsfeld**, wie zum Beispiel unser Sonnensystem, und einem **galaktischen Kraftfeld**. Das Buch erläutert in anschaulicher Darstellung das Zusammenspiel von Rotation und galaktischer Masse.

Die **Radioastronomie** hat in den letzten Jahrzehnten die interstellare Materie erforscht, die für optische Teleskope nicht sichtbar ist, und hat in deren Gas- und Staubwolken die Geheimnisse der Sternen- und Planetenentstehung entdeckt. Die Summierung der interstellaren Materie in dem Volumen der galaktischen Scheibe ergibt gewaltige Massen mit beachtlicher Gravitation. Das vorliegende Themenheft **Gravitation und Interstellare Materie** bilanziert diese Massen und belegt die These des Buches:

Das Kraftfeld der Spiralgalaxie ist ausreichend stark, um die rotierenden Massen ohne Dunkle Materie über viele Hunderte Millionen Jahre auf stabilen Umläufen an das System zu binden.

Die Radioastronomie hat das Fenster zur interstellaren Materie aufgestoßen. In diesem Fenster erkennen wir die steckbrieflich gesuchte fehlende Materie, die aufgrund ihrer Masse wesentlich zur Stabilität der Galaxie beiträgt.



Buch-Neuerscheinung 2014

erschienen im **Cuvillier Verlag Göttingen**
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag
ISBN 978-3-95404-663-8 A4-Großformat,
EUR 29,80

Mathematische Reise durch die Galaxie
Ist die Dunkle Materie ein galaktischer Spuk?
Alternative Thesen und Berechnung zur Rotation
der Galaxie

Der Autor Joachim Schmitz hat Ingenieurwissenschaft studiert. Er kombiniert Physik und geometrische Berechnungsverfahren zur Darstellung von Gravitationsfeldern. Näheres zur Person finden Sie hier:

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/6630-mathematische-reise-durch-die-galaxie>

<https://cuvillier.de/de/shop/people/53690-joachim-schmitz>



Cuvillier Verlag

Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

Cuvillier Verlag
Nonnenstieg 8
D-37085 Göttingen

Tel. +49(0)551/54724-0
Fax. +49(0)551/54724-21
E-Mail info@cuvillier.de

Internet: www.cuvillier.de
www.cuvillier.ch/.at/.nl
Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier