

## Zur Forderung von Dunkler Materie wegen hoher Geschwindigkeiten von Sternen im Außenbereich von Galaxien

### Dunkle Materie ist nicht erforderlich

## On the requirements of dark matter owing to the high velocities of stars in the outer regions of galaxies

### Dark matter is not required

#### Short version

Dark matter is wanted because the visible matter of a galaxy with its gravity is not sufficient to explain the high velocity of stars in the outer regions of galaxies on assumed Kepler orbits.

On the history of the problem:

The history went through the following steps. As part of the study of galaxies, the velocities of stars in the outer regions of galaxies was also measured depending on the distance to the center. According to /2.2.3-2/ it was assumed that the stars in the outer regions of galaxies round the center in Kepler orbits. This means that the velocity of bodies decreases with distance from the center. Just as in the solar system the velocity of the planets decreases towards the outside. However, the measurements on the Andromeda galaxy showed a approximately constant to increasing velocity towards the outside.

The expected decrease in velocity with distance was not found. There remained a significant difference between high measured velocities and low velocities calculated from the gravity of the galaxy's visible matter assuming Kepler orbits. If one sticks to the assumption that the stars in the outer regions move on Kepler orbits, then for this high measured velocities there must be a greater gravitational force than that result from the visible matter. Additional „dark matter“ is required.

She is wanted.

So much for the history.

On the topics explored here:

In contrast to Kepler orbits, the stars in the outer regions could move on hyperbolic trajectories at arbitrarily high velocities, even with gravity only caused by the visible matter of the galaxy. The boundary between the area of Kepler orbits and the area of the hyperbolic trajectories is determined by the parabolic trajectories. Here using the example of the galaxy M33, it is shown that its outer stars actually lie in the area of hyperbolic trajectories. The assumption of dark matter based on Kepler orbits is therefore not necessary.

However, there is still a hurdle to be overcome in explaining the trend of the velocities as a function of the distance to the center. On a hyperbolic trajectory, a body becomes faster the closer it gets to the center of gravity. However, the stars in the outer regions of galaxies slow down the closer they are to the center. Apparently there are forces that reduce the velocity of stars. Then they are no longer theoretical, uninfluenced hyperbolic trajectories, but rather

hyperbolic trajectories with deceleration. In any case, interstellar matter, for example, slows things down. Two other braking mechanisms that are based on gravitational effects are shown here. On the one hand, there are stars that slow down a faster star when it flies between them. Secondly, it is the changing curvature of the spiral arms that causes a braking effect.

Conclusion: The assumption of Kepler orbits leads to the requirement for dark matter. However, this assumption does not seem to be justified.

For details see the comprehensive german text.

### **Kurzfassung**

Nach Dunkler Materie wird gesucht, weil die sichtbare Materie einer Galaxie mit ihrer Gravitation nicht ausreicht, die hohe Geschwindigkeit von Sternen im Außenbereich der Galaxie auf angenommenen Keplerbahnen zu erklären.

Zur Historie der Problematik:

Die Historie verlief über folgende Schritte. Im Rahmen der Erforschung von Galaxien wurde auch die Geschwindigkeit von Sternen im Außenbereich von Galaxien in Abhängigkeit von der Entfernung zum Zentrum vermessen. Laut /2.2.3-2/ging man davon aus, dass die Sterne im Außenbereich von Galaxien das Zentrum auf Kepler-Bahnen umkreisen. Das bedeutet, die Geschwindigkeit von Körpern nimmt mit dem Abstand vom Zentrum ab. So, wie beim Sonnensystem die Geschwindigkeit der Planeten nach außen hin abnimmt. Die Messungen an der Andromeda-Galaxie zeigten aber eine etwa konstante bis zunehmende Geschwindigkeit nach außen hin.

Die erwartete Abnahme der Geschwindigkeit mit dem Abstand wurde nicht gefunden. Es blieb eine erhebliche Differenz zwischen hohen gemessenen Geschwindigkeiten und aus der Gravitation der sichtbaren Materie der Galaxie unter der Annahme von Kepler-Bahnen berechneten niedrigen Geschwindigkeit. Bleibt man bei der Annahme, dass sich die Sterne im Außenbereich auf Kepler-Bahnen bewegen, so muss für diese hohe gemessene Geschwindigkeit eine größere Gravitation wirken, als sie die sichtbare Materie aufbringt. Es ist zusätzliche „Dunkle Materie“ erforderlich.

Sie wird gesucht.

Soweit zur Historie.

Zu den hier untersuchten Themen:

Im Gegensatz zu Kepler-Bahnen könnten sich die Sterne im Außenbereich auf Hyperbelbahnen mit beliebig hohen Geschwindigkeiten bewegen, auch bei Gravitation nur durch die sichtbare Materie der Galaxie. Die Grenze zwischen dem Bereich von Kepler-Bahnen und dem Bereich von Hyperbelbahnen wird durch die Parabelbahnen festgelegt. Hier wird am Beispiel der Galaxie M33 gezeigt, dass deren äußere Sterne tatsächlich im Bereich

der Hyperbelbahnen liegen. Die auf Kepler-Bahnen beruhende Annahme von Dunkler Materie ist damit nicht erforderlich.

Eine Hürde zur Erklärung des Verlaufes der Geschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Abstand zum Zentrum ist dennoch zu überwinden. Auf einer Hyperbelbahn wird ein Körper umso schneller, je mehr er sich dem Gravitationszentrum nähert. Die Sterne im Außenbereich von Galaxien sind jedoch umso langsamer, je näher sie dem Zentrum sind. Offensichtlich gibt es Kräfte, welche die Geschwindigkeit der Sterne reduzieren. Dann handelt es sich nicht mehr um theoretische unbeeinflusste Hyperbelbahnen, sondern um Hyperbelbahnen mit Abbremsung. Auf jeden Fall bremst zum Beispiel die interstellare Materie. Hier werden zwei andere Bremsmechanismen aufgezeigt, die auf gravitativen Effekten beruhen. Zum einen sind es Sterne, die einen schnelleren Stern abbremsen, wenn er zwischen ihnen hindurchfliegt. Zum zweiten ist es die sich ändernde Krümmung der Spiralarme, die einen Bremsseffekt bewirkt.

Fazit: Die Annahme von Kepler-Bahnen führt zur Forderung nach Dunkler Materie. Diese Annahme scheint jedoch nicht gerechtfertigt zu sein.

## **Ausführliche Fassung**

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	Seite
1. Initiierung der Untersuchung	4
2. Übersicht der diskutierten Bahnen und Rotationskurven	
Kepler-Bahnen oder Hyperbelbahnen?	4
2.1 Bedeutung der Form der Bahn für die Forderung nach Dunkler Materie	4
2.2 Charakterisierung von Bahnen und ihre Einordnung bei Galaxien	4
2.2.1 Bahnen allgemein	4
2.2.2 Kepler-Bahnen	5
2.2.3 Verhältnisse bei Galaxien	6
3. Deutung der gemessenen Rotationskurven.	10
3.1 Übersicht zu Außenbereich, Innenbereich und dazwischen Übergangsbereich	10
3.2 Außenbereich	11
3.3 Übergangsbereich mit Abbremsung der Sterne	11
4. Literaturverzeichnis	13

## 1. Initiierung der Untersuchung

Ausgehend von Betonen als einzige Elementarteilchen ergab sich die Frage, ob mit Betonen die Dunkle Materie erklärt werden kann. Im Rahmen der Entwicklung der Hypothese von Betonen /1-1/ passten drei Eigenschaften der Betome auf die von Dunkler Materie geforderten Eigenschaften:

- kaum Wechselwirkung mit anderen Teilchen
- kaum Wechselwirkung untereinander
- Austausch von Energie über das Schwerefeld mit dem gesamten Kollektiv

Daher folgt der Versuch, die Rotationskurven von Sternen im Außenbereich von Galaxien mit Hilfe der Betome zu erklären. Es wurde keine Lösung gefunden. Allerdings war die Annahme von Kepler-Bahnen für die Sterne im Außenbereich als gewagt empfunden worden. Diese Annahme hat eine weitreichende Konsequenz. Nach Dunkler Materie wird gesucht, weil die sichtbare Materie einer Galaxie nicht ausreicht, die hohe Geschwindigkeit von Sternen im Außenbereich der Galaxie auf **angenommenen** Keplerbahnen zu erklären. Es ist durchaus realistisch, dass sehr weit entfernte Sterne (fast) gar nichts gravitativ von der Galaxie bemerken. Sie ziehen auf nur wenig gekrümmten Hyperbelbahnen auch bei hohen Geschwindigkeiten an der Galaxie vorbei. Daraufhin wurde diese Möglichkeit zur Erklärung der Rotationskurven näher untersucht.

## 2. Übersicht der diskutierten Bahnen und Rotationskurven

### Kepler-Bahnen oder Hyperbelbahnen?

#### 2.1 Bedeutung der Form der Bahn für die Forderung nach Dunkler Materie

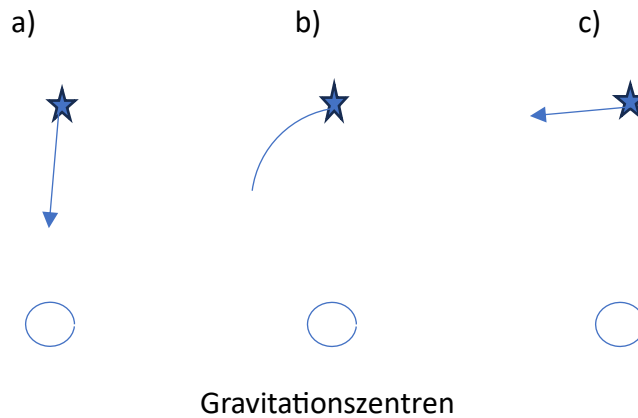
Die entscheidende Frage, ob eine Galaxie Dunkle Materie erfordert oder nicht, hängt von der Bahn der Sterne im Außenbereich der Galaxie ab. Sind es die angenommenen Kepler-Bahnen, so muss nach Dunkler Materie gesucht werden. Sind es Hyperbelbahnen mit Abbremsung der Tangentialgeschwindigkeit der Sterne, so wird Dunkle Materie nicht gebraucht.

#### 2.2 Charakterisierung von Bahnen und ihre Einordnung bei Galaxien

##### 2.2.1 Bahnen allgemein

Die Form der Bahn wird bestimmt durch die Größe der Gravitation der beteiligten Körper und der Geschwindigkeit und Richtung, in diesem Fall des Sterns, zu Beginn der Beobachtung. Hier werden nur tangential eintretende Sterne behandelt, weil nur die Tangentialgeschwindigkeit z. Z. gemessen werden kann. Die Extremfälle sind in Skizze 2.2.1-1 dargestellt.

Zwischen diesen Extremen gibt es Übergänge je nach Verhältnis von radialer Geschwindigkeit in Richtung Zentrum zu tangentialer Geschwindigkeit.



### Skizze 2.2.1-1 Sternenbahnen

Zu a) Die Tangentialgeschwindigkeit ist 0. Bahn ist radiale Gerade in Richtung Gravitationszentrum.

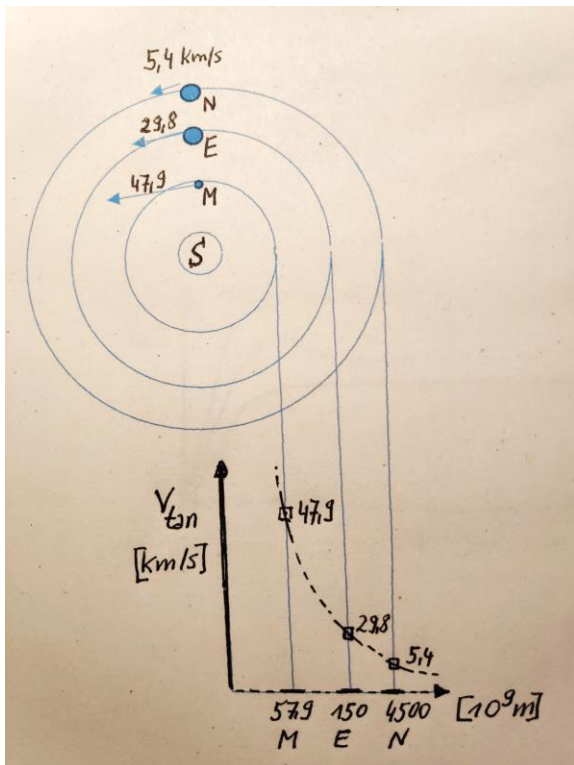
Zu b) Eine Bahn zwischen den Extremen (Kreisbahn oder Ellipsenbahn oder Parabelbahn oder Hyperbelbahn).

Zu c) Die Tangentialgeschwindigkeit ist sehr hoch. Die Bahn ist fast eine Gerade, tatsächlich eine schwach gekrümmte Hyperbel.

### 2.2.2 Kepler-Bahnen

Kepler-Bahnen sind aus dem System Sonne und ihren Planeten hergeleitet worden. Das System ist gekennzeichnet durch ein gravitativ weit überwiegendes Zentrum, was zu fast kreisförmigen elliptischen Bahnen der Planeten führt. Es sind geschlossene Bahnen. Körper mit hohen Geschwindigkeiten, die auf Parabel- oder Hyperbelbahnen am Sonnensystem vorbeiziehen, sind hier nicht berücksichtigt. Zum Geltungsbereich der Kepler-Gesetze heißt es in /2.2.2-1/:"Die Kepler-Gesetze gelten grundsätzlich für alle zum Sonnensystem gehörigen, periodisch wiederkehrenden Himmelskörper (z.B. Kometen) sowie sinngemäß auch für die Erde umkreisenden Körper (Mond, künstliche Satelliten)".

Das Sonnensystem und seine Rotationskurve sind in Skizze 2.2.2-1 dargestellt (nicht maßstäblich).



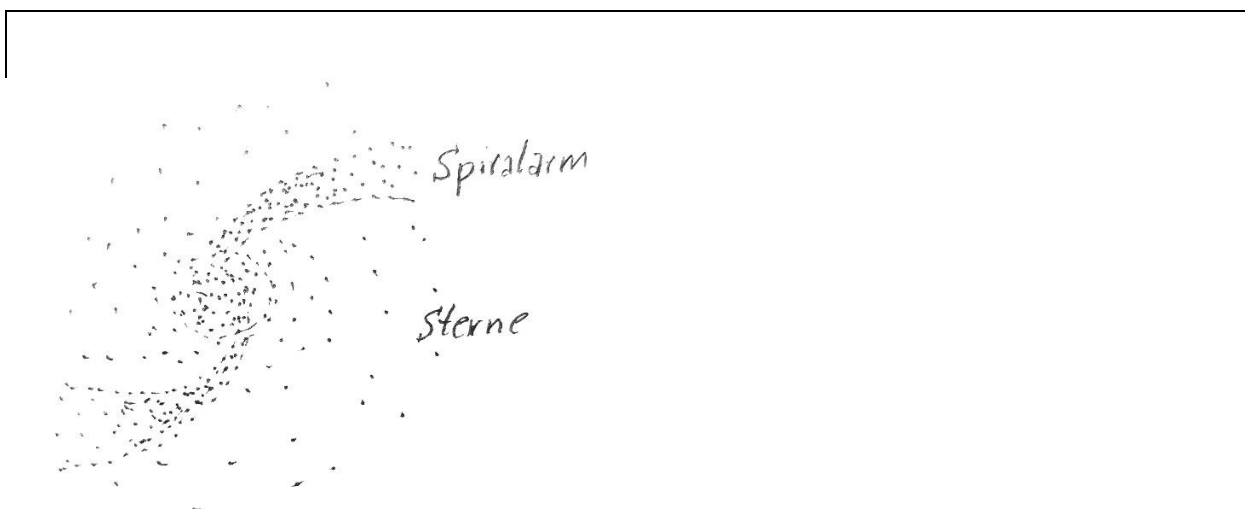
Skizze 2.2.2-1: Rotationskurve des Sonnensystems; S=Sonne, M=Merkur, E=Erde, N=Neptun,  $V_{tan}$  =Tangentialgeschwindigkeit

Die **wesentlichen** Aussagen sind:

1. Die Bahnen sind geschlossen.
2. Die Tangentialgeschwindigkeiten der Körper werden geringer mit wachsendem Abstand vom Zentrum.

### 2.2.3 Verhältnisse bei Galaxien

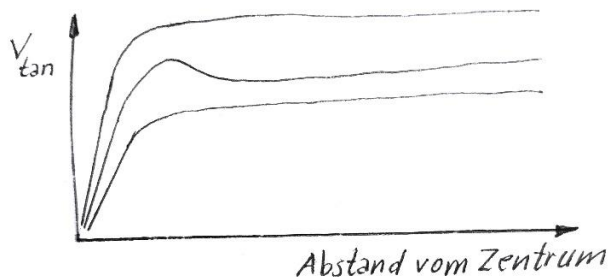
Wegen der zentralen Rolle der Galaxie M33 (eine Spiralgalaxie) in dieser Untersuchung werden hier die Verhältnisse bei einer Spiralgalaxie dargestellt (Skizze 2.2.3-1).



Skizze 2.2.3-1 Spiralgalaxie

Eigentlich haben das Sonnensystem und eine Spiralgalaxie nur eines gemeinsam. Sie besitzen ein „Außen“ und ein „Innen“. Aber diese unterscheiden sich deutlich. Während sich beim Sonnensystem nur wenige Körper im „Inneren“ bewegen, sind es bei der Galaxie sehr viele Sterne im Zentrum. Außerhalb des Zentrums hat dieser Typ einer Galaxie Spiralarme, die im Sonnensystem völlig fehlen. Wie später gezeigt wird, haben sie Einfluss auf die Form der Bahn der Sterne.

Die Rotationskurven von Galaxien sind in /2.2.3-1/ dargestellt. Sie zeigen einen Verlauf, der vereinfacht typisiert in Skizze 2.2.3-2 zu sehen ist.



Skizze 2.2.3-2 Rotationskurven von Galaxien

Weil es bei Dunkler Materie um die Geschwindigkeit der Sterne im Außenbereich geht, sei hier zunächst nur der Außenbereich diskutiert. Ausführungen zum gesamten Kurvenverlauf werden in Punkt 3 „Deutung der gemessenen Rotationskurven“ behandelt.

Wie war nun der Weg bis zur Forderung nach Dunkler Materie?

Galaxien wurden spektroskopisch untersucht. Dazu ein Zitat aus /2.2.3-2/: „Das Mittel der Wahl blieb die Spektroskopie der fernen Sternsysteme, weil sie Aufschluss über die Bewegung und Masse der Sterne lieferte. Doch die Aufnahme von Spektren gestaltete sich weiterhin mühsam. Insbesondere war es kaum möglich, die Geschwindigkeiten von Objekten in den lichtschwachen Außenbereichen der Scheiben zu bestimmen. Im Vergleich zu den hellen Zentralgebieten waren hier offenbar nicht mehr sehr viele Sterne zu erwarten. Man ging deshalb davon aus, dass die Sterne und Gaswolken in den äußeren Regionen das Zentralgebiet fast genau dem Kepler-Gesetz entsprechend umkreisen.“

**Wesentlich** ist hier die **Annahme**, dass die Sterne in den äußeren Regionen das Zentralgebiet fast genau dem Kepler-Gesetz entsprechend umkreisen.

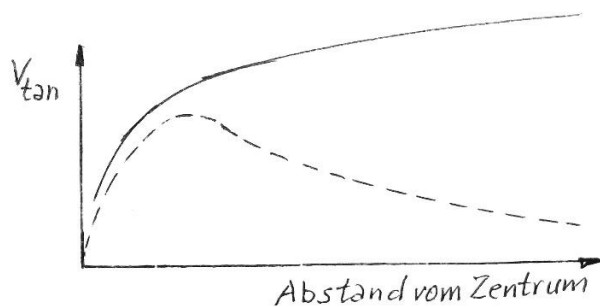
Diese Annahme stellt die Weiche in Richtung auf Forderung nach Dunkler Materie. Auf der Annahme basieren dann weitere Argumente.

Zu den Ergebnissen der spektroskopischen Untersuchungen folgendes Zitat aus /2.2.3-3/: „In dieser Phase der Stagnation kam ein Student namens Harace Babcock an das Lick-Observatorium in Berkeley, wo ihm für seine Doktorarbeit ein neuer Spektrograf zur Verfügung stand. Mit diesem Gerät wollte er die Rotationskurve der Andromeda-Galaxie bis in große Entfernungen vom Zentrum messen. Das Ergebnis war überraschend: Statt des

erwarteten Abfalls schienen die Geschwindigkeiten bis in die Außenbereiche eher zuzunehmen, allenfalls blieben sie unverändert hoch. Babcock schloss seine Arbeit, die er 1939 im Lick Observatorium Bulletin veröffentlichte, mit den Worten: „Die nahezu konstante Winkelgeschwindigkeit in den Außenbereichen von M31 ist das Gegenteil von der „Planetentyp-Rotation“ wie man sie in den Außenbereichen unserer Galaxie erwartet.“

**Wesentlich** ist hier, dass sich die gemessenen Geschwindigkeiten als das Gegenteil von „Planetentyp-Rotation“ ergaben.

Der Widerspruch ist in Skizze 2.2.3-3 nach /2.2.3-4/ und nach /2.2.3-5/ und nach /2.2.3-6/ dargestellt.



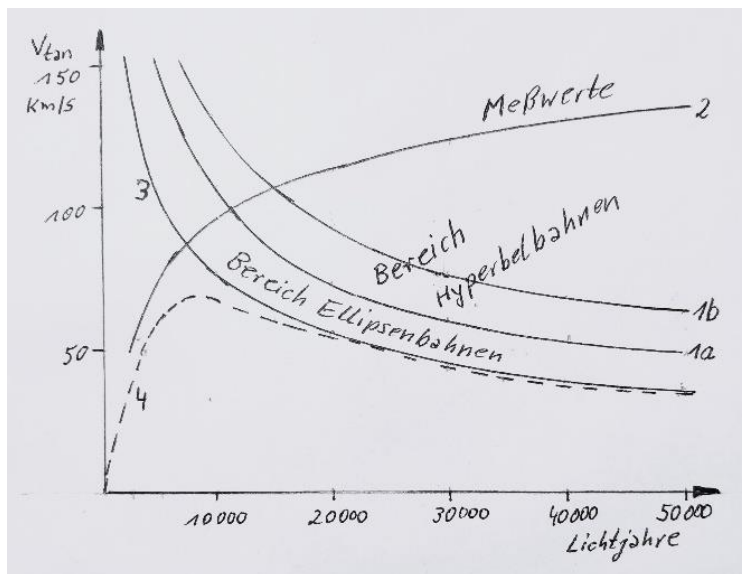
Skizze 2.2.3-3 Widerspruch zwischen gemessener Geschwindigkeit (durchgezogene Kurve) und berechneter Geschwindigkeit (gestrichelte Kurve)

Dieser Widerspruch zwischen der Annahme von „Planetentyp-Rotation“ entsprechend den Kepler-Gesetzen, die eine Abnahme der Rotationsgeschwindigkeiten mit dem Abstand zum Zentrum fordert (wie im Sonnensystem, siehe Skizze 2.2.2-1) und dem gemessenen fast konstanten Geschwindigkeitsverlauf war also zu klären.

In der Argumentationskette blieb man bei der **Annahme** von „Planetentyp-Rotation“. Um die Sterne im Außenbereich mit ihren hohen Geschwindigkeiten auf Kreis- oder Ellipsenbahnen entsprechend einer **angenommenen** „Planetentyp-Rotation“ zu halten, reichte aber die Gravitation der sichtbaren Materie der Galaxie nicht aus. So entstand die Forderung nach Dunkler Materie als Ergänzung der sichtbaren Materie. Dazu ein Zitat aus /2.2.3-7/: „Denn wenn die Geschwindigkeiten der Körper mit wachsendem Abstand vom Zentrum nicht abnehmen, sondern konstant bleiben, muss sich innerhalb der Umlaufbahn dieser Körper unsichtbare Materie befinden, die eine erhebliche Schwerkraft ausübt.“ **Diese Forderung nach Dunkler Materie beruht aber auf einer Annahme.**

Dass sich die Sterne im Außenbereich nicht auf Kepler-Bahnen bewegen müssen, wie oben in der Argumentation angenommen, ist aus Skizze 2.2.3-3 ersichtlich. Sie ist für die Galaxie M33 erstellt.





Skizze 2.2.3-3 Rotationskurven für die Galaxie M33

Oberhalb der Kurve 1a (bzw. 1b) für Parabelbahnen befindet sich das Gebiet der Hyperbelbahnen. Zwischen der Kurve 3 für Kreisbahnen und der Kurve 1a liegen die Ellipsenbahnen.

Die **entscheidende Kurve** ist die Kurve für Parabelbahnen (Kurve 1), denn sie trennt das Gebiet für „Planetentyp-Rotation“ (Kreis- und Ellipsenbahnen) vom Gebiet der Hyperbelbahnen. Körper auf diesen Hyperbelbahnen können bei jedem Abstand vom Zentrum mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten am Zentrum der Gravitation vorbeifliegen, wenn sie nicht durch Kräfte anderer Körper (Sterne, Staub, Gase, Spiralarme) abgebremst werden. Die gemessenen Werte der Sternengeschwindigkeiten sind aus /2.2.3-8/ entnommen und als Kurve 2 eingezeichnet. **Als wesentliche Aussage ist ersichtlich, dass sich bei Abständen über 11250 Lichtjahre (Kurve 1a) bzw. über 16250 Lichtjahre (Kurve 1b) die Sterne im Bereich der Hyperbelbahnen befinden. Für den Außenbereich von M33 brauchen die Sterne keine Dunkle Materie, weil sie im Bereich der Hyperbelbahnen liegen und nicht im Bereich der „Planetentyp-Rotation“, also der Keplerbahnen, wie es angenommen war.**

Ergänzend sind die Kurve 3 für Kreisbahnen (Masse der Galaxie 3,82 Mrd. Sonnenmassen) und die in /2.2.3-8/ angegebene für „Planetentyp-Rotation“ berechnete Kurve hier als Kurve 4 eingetragen.

Mit der Feststellung, dass die Sterne im Außenbereich der Galaxie im Gebiet der Hyperbelbahnen liegen, ist der Verlauf der gemessenen Rotationskurve noch nicht erklärt. Dazu werden in Pkt. 3 Ausführungen gemacht.

Anmerkungen zur Erstellung der Skizze 2.2.3-3:

Für die Berechnung der Kurven für Parabelbahnen (Kurven 1) und für Kreisbahnen (Kurve 3) ist der Zahlenwert der Masse des Gravitationszentrums erforderlich. Für die Kurve 1a wurde die Masse aus der in /2.2.3-8/ dargestellten theoretischen Rotationskurve (gestrichelte Kurve) für den Außenbereich vom Abstand 15000 Lichtjahre bis zum Abstand 45000

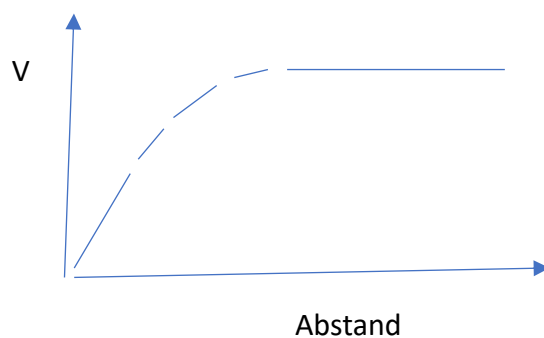
Lichtjahre vom Zentrum der Galaxie ermittelt. Es ergab sich ein Wert von 3,82 Mrd. Sonnenmassen. Laut /2.2.3-9/ hat M33 eine Masse von 4 bis 6 Mrd. Sonnenmassen. Damit entspricht die Kurve 1a mit 3,82 Mrd. Sonnenmassen auch diesem unteren Wert. Die Kurve 1b wurde mit 6 Mrd. Sonnenmassen berechnet.

Die Kurve für Kreisbahnen (Kurve 3) wurde nur mit dem Wert 3,82 Mrd. Sonnenmassen ermittelt.

### 3. Deutung der gemessenen Rotationskurven.

#### 3.1 Übersicht zu Außenbereich, Innenbereich und dazwischen Übergangsbereich

Die in Skizze 2.2.3-2 dargestellten Rotationskurven können stark vereinfacht so gesehen werden wie in folgender Skizze 3.1-1:



Skizze 3.1-1 Vereinfachte Rotationskurve

Es sind drei Bereiche erkennbar. In der Nähe des Zentrums rotieren die Sterne annähernd wie eine feste Scheibe. Die Geschwindigkeit ist proportional dem Abstand vom Zentrum. Bei einer festen Scheibe sind die Atome stark aneinander gebunden. In der Galaxie sind die Sterne um das Zentrum ebenfalls relativ stark durch Gravitation wegen der „geringen“ Abstände miteinander verbunden. Die Form der Rotationskurven in Nähe des Zentrums stimmen mit der berechneten Kurve für M33 in /2.2.3-8/ überein. Der Innenbereich wird hier nicht weiter behandelt.

Im Bereich weit außerhalb der Galaxie haben die Sterne eine annähernd konstante Geschwindigkeit, unbeeindruckt vom Abstand zum Zentrum der Galaxie. Die Sterne sind wohl so weit vom Gravitationszentrum entfernt, dass die erhöhte Geschwindigkeit bei Annäherung an das Zentrum auf einer Hyperbelbahn nicht merklich ist. Im Gegensatz zu den starken Bindungskräften der „festen Scheibe“ sind es im Außenbereich geringe Bindungskräfte.

Der mittlere Bereich in der obigen Skizze oben ist der Übergangsbereich. Die Sterne haben geringere Geschwindigkeiten, je näher sie dem Zentrum sind. Dass sie gravitativ zum Zentrum gezogen werden und der Abstand zum Zentrum sich verringert, ist unbestritten. Dass sich die Geschwindigkeit auf einer Hyperbelbahn beim Annähern an das Zentrum nicht erhöht, sondern sogar verringert, kann nur durch eine Abbremsung der Sterne erfolgen.

### 3.2 Außenbereich

Aus /2.2.3-1/ ist ersichtlich, dass für etliche Galaxien die Tangentialgeschwindigkeiten der Sterne im Außenbereich zwischen etwa 150 km/s und 350 km/s liegen. Das deutet auf ähnliche Entstehungsmechanismen für Sterne hin. Die Sterne behalten bei ihrer Entstehung aus Gaswolken die Geschwindigkeit der Wolke bei. Und Wolken von ionisiertem Gas, das als Jet-Materie aus den Zentren von Galaxien ausgestoßen wird, haben laut /3.2-1/ eine Geschwindigkeit von rund 300 km/s.

Es sind im Außenbereich wohl junge Sterne. Nach /3.2-2/ befinden sich im Zentrum die älteren Sterne. Die schnellen Sterne im Außenbereich werden auf ihrem Weg nach innen offensichtlich abgebremst.

### 3.3 Übergangsbereich mit Abbremsung der Sterne

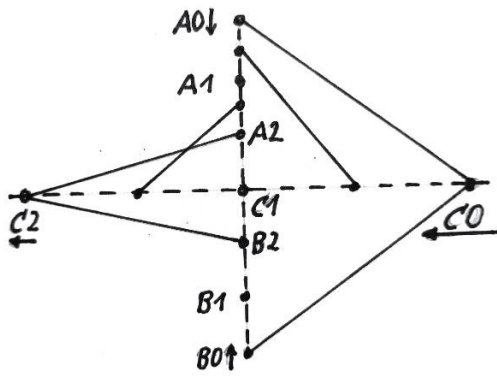
Für eine Abbremsung gibt es verschiedene Möglichkeiten. Sicher bremst interstellare Materie die Sterne ab. Die Wirkung scheint eher gering zu sein, weil die Geschwindigkeit weit weg vom Zentrum sich nicht merklich verringert. Schon Babcock verwies auf die Beeinflussung der Sterne hin. Zitat aus /3.3-1/ „Babcock vermutete jedoch, dass die wenigen Objekte, die er in den Außenbezirken noch hatte nachweisen können, möglicherweise in ihrer Bewegung von der Spiralstruktur und einer nicht weiter erklärten „internen Gravitationsviskosität“ beeinflusst sein könnten.“ In der Galaxie ist jeder Stern mit jedem anderen Stern gravitativ anziehend verbunden, so etwa wie mit mehr oder weniger gespannten Gummibändern. Diese Verbindungen führen zu „Einordnung“ in das Kollektiv, man könnte das auch als „Disziplinierung“ bezeichnen. Physikalisch ähnelt das der Viskosität. Die Viskosität ist mit starken Kräften im Zentrum und schwachen im Außenbereich zu erklären. Die Eigenschaften von innen nach außen ändern sich etwa wie „fester Körper“, Flüssigkeitswirbel, Gaswirbel und Bewegung sich weit auseinander befindlichen Körpern (Gase oder Sterne im Weltraum).

Diese Eigenschaften einer Galaxie betreffen auch ihren Außenbereich. Die Sterne werden abgebremst.

Im Weiteren werden zwei Beispiele für das Abbremsen durch Spiralarme gezeigt.

#### Beispiel 1: Abbremsung durch Kontraktion des Spiralarmes

Bei der Betrachtung von Spiralarmen fällt auf, dass ihre Breite von außen nach innen abnimmt /3.3-2/. Die Sterne im Spiralarm ziehen sich an. Gelangt nun ein schneller Stern in den Spiralarm, ergeben sich Bremskräfte entsprechend Skizze 3.3-1.



Skizze 3.3-1: Abbremsung eines schnellen Sterns (C) durch zwei langsame Sterne (A und B) in einem Spiralarm

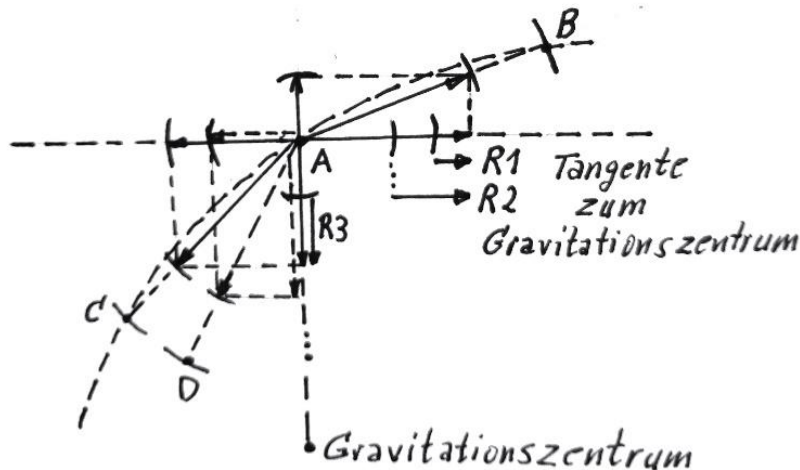
Erläuterung: A0, B0 und C0 sind Positionen der Sterne zu Beginn der Beobachtung, A1, B1 und C1 sind die Positionen nach Zurücklegung des halben Weges vom Stern C. A2, B2 und C2 sind die Positionen am Ende der Beobachtung. Die Pfeile sind Geschwindigkeitsvektoren.

Wirkungsweise:

Vor der Passage der Verbindungslinie der beiden Spiralarmsterne durch den ankommenden Stern sind die Abstände der Sterne größer als nach der Passage. Die kürzeren Abstände nach der Passage bedeuten stärkere Gravitationskraft und somit Abbremsung des Sterns. Der schnelle Stern wird ab dem Eintritt in den Spiralarm gebremst. Dieser Effekt setzt sich im ganzen Spiralarm fort.

Beispiel 2: Abbremsung durch Lage des Spiralarmes und veränderte Krümmung des Spiralarmes

Ebenfalls aus der Betrachtung von Spiralarmen in /3.3-2 / ist ersichtlich, dass die Krümmung der Spiralarme von außen nach innen zunimmt. In Skizze 3.3-2 ist ein Stern A dargestellt, der von zwei Sternen (beide haben gleiche Masse) im Spiralarm angezogen wird. Sie haben gleichen Abstand zu A. Die resultierenden tangentialen Bremskräfte sind einmal für konstante Krümmung (Kreisbogen) und einmal für verstärkte Krümmung eingezeichnet.



### Skizze 3.3-2 Bremswirkung durch die Krümmung des Spiralarmes

Erläuterungen zur Skizze: Die Sterne A, B, C und D befinden sich in einem Spiralarm um das Gravitationszentrum. Der Stern D bedeutet nur eine andere Lage des Sterns C. Weil es beim Stern A um seine Tangentialgeschwindigkeit geht, sind bei ihm die Tangente zum Gravitationszentrum eingezeichnet und die tangential wirkenden Gravitationskräfte. Vereinfacht liegen die Sterne A, B und C auf einem Kreisbogen, der eine konstante Krümmung hat und nicht eine nach innen zunehmende. Die auf A wirkenden Anziehungskräfte durch B und C sind gleich groß. Sie sind in ihre radialen und tangentialen Komponenten zerlegt. Die tangentiale Komponente in Richtung B ist größer als in Richtung C. Die Resultierende dieser beiden entgegengesetzten tangentialen Komponenten ist als R1 eingezeichnet. Sie ist die wirksame Bremskraft für den Stern A.

Für eine sich nach innen verstärkende Krümmung des Spiralarmes rückt der Stern C in die Position D. Die tangentiale Komponente in diese Richtung wird geringer und die resultierende Bremskraft R2 wird größer.

Außerdem wird die gravitative Wirkung des Zentrums durch die beiden Spiralarmsterne verstärkt. Ersichtlich ist das aus R3 für die Position C.

Während also die Gravitation des Zentrums den Abstand eines Sterns vom Zentrum verringert, wird durch Spiralarmsterne auch seine Tangentialgeschwindigkeit gesenkt. Das erklärt die Rotationskurve einer Spiralgalaxie.

#### 4. Literaturverzeichnis

/1-1/ <https://imrich-bartosch.homepage.t-online.de>, 3.8 „Der Zusammenhang von „Dunkler Materie“ und Teilchen“

/2.2.2-1/ Stroppe, „Physik“, Fachbuchverlag Leipzig; Köln 1992, S. 74

/2.2.3-1/ Thomas Bührke „Was ist Dunkle Materie?“, Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co. KG, Stuttgart, 2022, S. 36, Abb. 1.11

/2.2.3-2/ Thomas Bürke „Was ist Dunkle Materie?“, Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co. KG, Stuttgart, 2022, S. 26,

/2.2.3-3/ Thomas Bürke „Was ist Dunkle Materie?“, Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co. KG, Stuttgart, 2022, S. 26, 27/

/2.2.3-4/ Wikipedia, „Dunkle Materie“, abgerufen 20.01.2022

/2.2.3-5/ „Spektrum der Wissenschaft“, Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg, August 2010, S.25

/2.2.3-6/ Thomas Bürke „Was ist Dunkle Materie?“, Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co. KG, Stuttgart, 2022, S. 36, Abb. 1.12

/2.2.3-7/ Thomas Bürke „Was ist Dunkle Materie?“, Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co. KG, Stuttgart, 2022, S. 27/

/2.2.3-8/ Thomas Bürke „Was ist Dunkle Materie?“, Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co. KG, Stuttgart, 2022, S. 36, Abb. 1.12

/2.2.3-9/ Wikipedia, „M33“, abgerufen 12.11.2022

/3.2-1/ Spektrum der Wissenschaft, Lexikon der Physik, Google, abgerufen 24.01.2024

/3.2-2/ Wikipedia, „Spiralgalaxie“, abgerufen 14.01.2024

/3.3-1/ Thomas Bürke „Was ist Dunkle Materie?“, Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co. KG, Stuttgart, 2022, S. 27

/3.3-2/ Thomas Bürke „Was ist Dunkle Materie?“, Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co. KG, Stuttgart, 2022, S. 18, Abb. 1.5