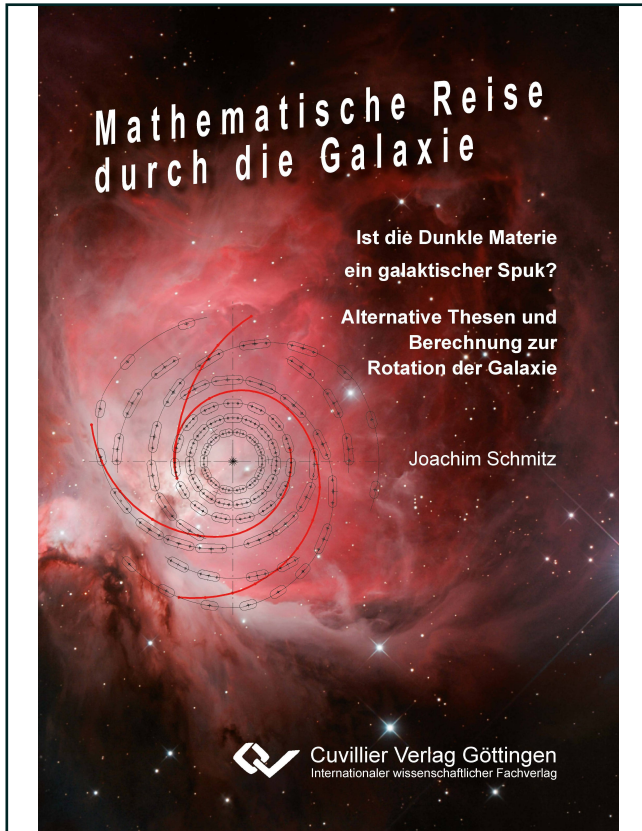




Joachim Schmitz (Autor)

## **Mathematische Reise durch die Galaxie**

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



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/6630>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,  
Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

Das Physikalische Gesetz, welches die Umlaufbahnen der Planeten in unserem Sonnensystem beschreibt, ist die Grundlage für die Berechnung der Flugbahnen im Weltraum. Es ist ein fundamentales Naturgesetz. Es ist das oberste physikalische Gesetz, dem alle Bewegungen in unserem Sonnensystem gehorchen. Dieses Gesetz ist aber auch die Grundlage für unser Verständnis der dynamischen Abläufe, die in unserer Galaxis und darüber hinaus im Universum geschehen. Es ist das Gravitationsgesetz von Isaac Newton (1642-1727).

Das Gravitationsgesetz beschreibt die Kraft, mit der sich zwei Massen anziehen. Die Kraft heißt daher Massen-Anziehungskraft, diese ist abhängig von der Größe der Massen und ihrem Abstand.

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

Diese Formel ist das Werkzeug, um die Bewegungen der Planeten in unserem Sonnensystem zu berechnen. In diesem System hat unsere Sonne die weitaus größte Masse, sie bildet daher den Mittelpunkt, um den sich alles dreht.

Johannes Kepler (1571-1630) hat mit den Gesetzen über Planeten, die in elliptischen Bahnen umlaufen, das Fundament geliefert, auf dem Isaac Newton das Gravitationsgesetz gegründet hat. Die Kepler'schen Planetengesetze bilden zusammen mit dem Gravitationsgesetz von Newton das physikalische Gebäude der Himmels-Mechanik. 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.*

Die astronomische Forschung ist nicht stehen geblieben, heute ermöglichen riesige Teleskope auf der Erde und auf irdischen Umlaufbahnen den Astronomen einen Blick in die Tiefe des Universums und auf die Bewegung von Galaxien. Die Astrophysik hat die Sternbewegungen am Rande unserer heimatlichen Galaxis – der Milchstraße – vermessen und stellt fest: Sterne, die fernab am Rande der Galaxis das galaktische Zentrum umrunden, werden nicht langsamer, ihre Umlaufgeschwindigkeit nimmt sogar zu. Diese Beobachtung steht damit scheinbar im Widerspruch zu dem fundamentalen Gesetz der Himmels-Mechanik.

Das hier vorgestellte Berechnungsmodell verwendet das Newton'sche Gravitationsgesetz in seiner strengen mathematischen Aussage. Es beschreibt die Anziehungskraft von zwei Massen, die im Idealfall punktförmig konzentriert sind. Die Masse ist in einer Galaxie aber nicht im Zentrum konzentriert.

Stellen wir uns vor, unser Sonnensystem wäre bis zum Saturn angefüllt mit 1000 Jupiter-Planeten, dann wäre die Masse im System verdoppelt und davon wäre 50 % großräumig verteilt. Die Folge wäre, dass alle Planeten ihren Bahnen um die Sonne nicht ungestört folgen könnten.

Der wechselseitige Einfluss der vielen Planeten würde in diesem System ein völlig anderes Gravitationsfeld erzeugen. In einem solchen System wären die Umlauf-Geschwindigkeiten von Merkur, Venus, Erde, Mars und Jupiter nicht nur von der Masse im Zentrum bestimmt, sondern gleichzeitig dem Einfluss von 1000 Jupiter-Massen ausgesetzt. Ein solches Gravitationsfeld wirkt nicht ausschließlich zentrisch, da die äußeren beteiligten Massen einen erheblichen Einfluss haben. Ein solches System ähnelt schon eher einer Galaxie.

Bei der Anwendung des Gravitationsgesetzes ist ein wesentlicher Unterschied zwischen unserem Sonnensystem und einer Galaxie zu beachten.

- In unserem Sonnensystem ist nahezu die gesamte Masse in der Sonne konzentriert.
- In einer Galaxie ist ein großer Teil der Masse im Umkreis von Tausenden von Lichtjahren verteilt.

Das Berechnungsmodell verteilt große Massenbrocken auf eine angenäherte Kreisebene und verbindet jeweils zwei Brocken mit einer Kraftlinie. Wären diese Kraftlinien sichtbar, so ergäbe sich ein „Spinnen-Netz“. Im Modell steht dieses „Spinnen-Netz“ stellvertretend für das Gravitationsfeld. Jeder „Spinnfaden“ ist eine Kraftlinie zwischen zwei Massen, deren Anziehungskraft physikalisch eindeutig nach dem Newton'schen Gravitationsgesetz berechnet werden kann.

Auf Basis der gegenwärtig bekannten Daten für unsere Heimat-Galaxie kommt das Berechnungsmodell ohne „Dunkelmaterie“ und ohne modifizierte Physik zu folgendem Ergebnis:

- Die Massen der Außenzone erzeugen zusammen mit dem Zentrum ein Gravitationsfeld, welches auf die Geschwindigkeit der umlaufenden Sterne oder Materie einwirkt.
- In einer Galaxie sind die Rotations-Geschwindigkeiten auch von der Massen-Verteilung in der Außenzone des Gravitationsfeldes abhängig.
- Wenn etwa die Hälfte der galaktischen Masse auf die Außenzone verteilt ist, nimmt die Umlauf-Geschwindigkeit nicht signifikant nach außen ab.
- Das Gravitationsfeld ist ausreichend stark, um die Materie auch in den Randzonen der Galaxie in eine Kreisbahn zu zwingen. Diese Aussage gilt für die gewählten Daten.

Das nachfolgende Berechnungsmodell ist geometrisch und rechnerisch dargestellt. Die Ergebnisse sind stimmig und nachvollziehbar. Der Nachweis ist in Geometrie-Datenblättern und Kalkulationstabellen im Anhang vollständig aufgeführt.

#### Anmerkung

Das Gravitationsgesetz ist entstanden aus den astronomischen Vermessungen der Mars-Umlaufbahn. Tycho Brahe (1546-1601) war königlicher Hofastronom und hat sehr genaue Positionsbestimmungen vom Mars erstellt. Aus diesem sehr umfangreichen Zahlenwerk hat Johannes Kepler (1571-1630) gefolgert, dass die Mars-Umlaufbahn elliptisch ist. Kepler ist es gelungen, diese Bewegungen geometrisch und mathematisch eindeutig zu beschreiben. Isaac Newton (1642-1727) hat auf der Grundlage der Kepler'schen Planetengesetze das Gravitationsgesetz entwickelt und gilt als Baumeister der klassischen Physik.

## 2.0 Rotations-Geschwindigkeit im galaktischen Kraftfeld 2.0

Das nachfolgend dargestellte Berechnungsmodell zur Ermittlung der Rotations-Geschwindigkeit in einer Galaxie basiert auf der Anwendung der gültigen physikalischen Gesetze, die von Newton formuliert wurden.

In einer Galaxie ist jeder Stern und jeder Sternhaufen einer Vielzahl von gegenseitigen Massen-Anziehungs-Kräften ausgesetzt.

*Eine Galaxie gleicht einem Spinnen-Netz, verbunden durch unzählige, unsichtbare Zugseile.*

Eine Galaxie ist ein rotierender Massenverbund, bestehend aus einer unvorstellbar großen Anzahl von sichtbar strahlenden Sternen. Durch die Leistung der astronomischen Forschung werden in diesen kosmischen Gebilden rotierende, spiralartige Strukturen erkennbar. Alle rotierenden Körper mit zu geringer Geschwindigkeit werden ins Zentrum gesogen, die Körper mit zu hoher Geschwindigkeit entfliehen dem Zentrum auf äußere Umlaufbahnen.

*Es sind diese physikalischen Gesetze der Gravitation, welche der Galaxie ihre rotierende Struktur geben und die beteiligten Massen oder Sterne gleichzeitig entsprechend ihrer Geschwindigkeit sortieren.*

Die Zugkräfte (oder Anziehungskräfte) zwischen zwei Massen-Konzentrationen werden einzeln berechnet und daraus ihre jeweilige zentrisch wirkende Kraft-Komponente ermittelt. Diese Vorgehensweise erlaubt die uneingeschränkte Anwendung der Zweikörper-Formel, da stets nur zwei entfernte Massenpunkte (oder Massen-Konzentrationen) berechnet werden.

Für das Berechnungsmodell wurden neun beliebige Ortspunkte mit unterschiedlichem Abstand zum Galaxie-Zentrum gewählt. Auf jeden Ortspunkt wirken alle vorhandenen Massenpunkte der Galaxie aus allen Richtungen.

Auf diese Massepunkte darf die Newton'sche Gravitationsgleichung für die Anziehungskraft ( $F_z$ ) zweier Massen angewendet werden:

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

In der Modellrechnung ist die Gesamtmasse der Galaxie auf 200 einzelne Massepunkte aufgeteilt, die gemäß Richtung und Abstand geometrisch ermittelt wurden. Für die Berechnung wurde jeder einzelne Massepunkt mit einer Milliarde x Sonnenmasse angenommen.

Die Anziehungskraft zweier Massenpunkte ist tabellarisch (mittels Excel-Programm) berechnet, und mittels der Sinus-Funktion erhält man die jeweilige Kraft-Komponente zum Galaxiezentrum.

Die Summe dieser einzelnen Kraft-Vektoren ergibt schließlich die gesamt-resultierende Kraft, die in Richtung des Galaxiezentrum wirkt. Aus dieser Gesamt-Resultierenden wird nunmehr unter der Annahme einer kreisförmigen Umlaufbahn die erforderliche Rotations-Geschwindigkeit errechnet.

### 3.0 Struktur, Kraft-Vektoren und Geschwindigkeit

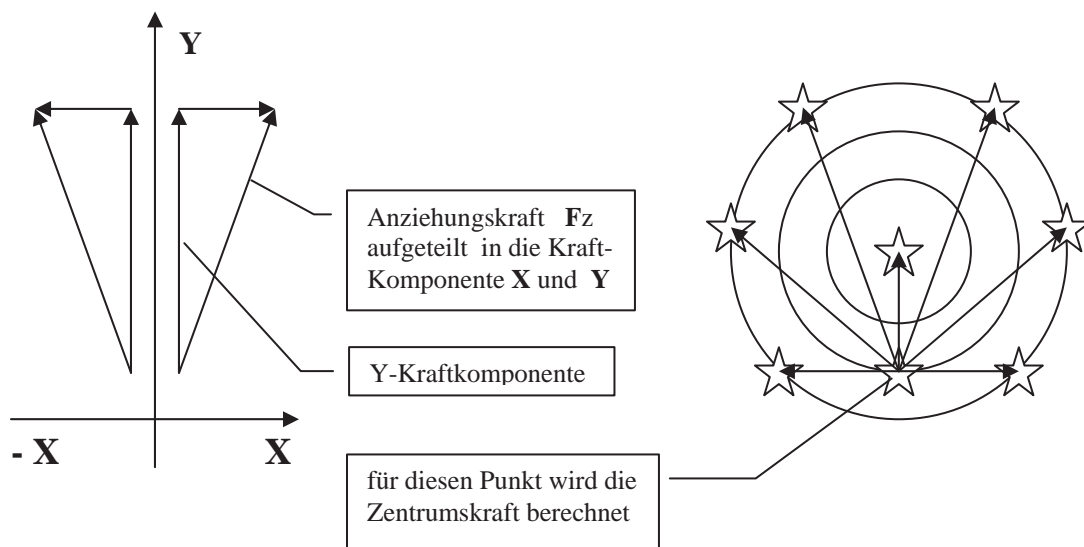
3.0

Das Berechnungsmodell beschreibt einen momentanen Zustand. Die Berechnung kann mittels variabler Parameter (z.B. unterschiedliche Massen-Verteilung) unterschiedliche galaktische Strukturen abbilden. Der Aufbau für das Berechnungsmodell wurde daher in Anlehnung an spiralförmige Strukturen mit den Dimensionen der Milchstraße gewählt.

Für das Berechnungsmodell gelten folgende vereinfachenden Annahmen:

*Im Modell sind die Massenpunkte näherungsweise symmetrisch in einer Scheiben-Ebene auf drei Ringbahnen und vier Spiralarmen einer Perlenkette gleich aufgereiht.*

Eine symmetrische Massen-Verteilung 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 ( $F_z$ ) addiert werden.



Aufgrund der sichtbar rotierenden Struktur der Galaxien ist die Annahme berechtigt, dass die große Mehrzahl der Sterne und Sternhaufen einer kreisähnlichen Umlaufbahn folgt. In der Modellberechnung gilt die Annahme, dass die Mehrzahl der einzelnen Sterne oder Sternhaufen das Zentrum der Galaxie auf einer kreisähnlichen Bahn umrundet.

für kreisförmige Umlaufbahnen gilt:  $F_z = m_x v^2 / R$

Die zentrisch wirkende Kraft  $F_z$  erfordert folgende Rotations-Geschwindigkeit  $v$

$$v = \sqrt{F_z \times R / m}$$

Anmerkung:

Die Milchstraße ist nach heutiger astronomischer Kenntnis eine Galaxie mit einer hohen Mas- sendichte innerhalb eines Radius von ca. 16.000 Lichtjahren. In den äußeren Zonen der Milchstraße ist der größte Teil der sichtbaren Masse großräumig auf einer Scheibenebene angesiedelt. Unser Sonnensystem ist darin ein „mikroskopischer Teil“, der im Radius von ca. 28.000 Lichtjahren das galaktische Zentrum in ca. 240 Millionen Jahren umrundet.





Die Andromeda-Galaxie ist ca. 2,5 Millionen Lichtjahre von der Milchstraße entfernt. Der Durchmesser der sichtbaren Spiralscheibe beträgt ca. 140.000 Lichtjahre.

## 4.0 Milchstraße und Modelldaten für Spiralgalaxie

4.0

Die folgenden astronomischen Daten ( $x_1$ ) sind zum besseren Verständnis angegeben:

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

Masse der Galaxie = ca. 200 Milliarden x Sonnenmasse

Distanz unserer Sonne zum Zentrum unserer Galaxie = 28.000 Lichtjahre

Rotations-Geschwindigkeit der Sonne = 225 km/sec

Rotationszeit der Sonne um das galaktische Zentrum = 237 Millionen Jahre

$x_1$ ) Die Angaben sind entnommen:

„Das Grosse Lexikon der Astronomie“ von Joachim Hermann

Herausgeber Lexikon-Institut Bertelsmann

ISBN 3-572-01286-4

2001 aktualisierte Sonderausgabe des Orbis Verlag / Verlagsgruppe Falken-Mosaik

Für die Berechnung wurden folgende Daten angenommen.

Gesamtmasse der Galaxie = 190 Milliarden x Sonnenmasse

Durchmesser der Galaxie = 100.000 Lichtjahre

In Bezug auf Ausdehnung und Gesamtmasse sind die gewählten Daten mit unserer Heimatgalaxis, der Milchstraße vergleichbar. Die Massen-Verteilung in unserer Milchstraße ist nicht ausreichend wissenschaftlich bekannt. Die gesamte sichtbare Materie unserer Galaxis wird nach heutigem Kenntnis mit ca. 200 Milliarden x Sonnenmasse beziffert (siehe obige Quellen-Angabe). Nach Kenntnis des Verfassers (Stand 2013) gibt es gegenwärtig weder gesicherte astronomische Daten über die Gesamtmasse unserer Heimat-Galaxis noch ausreichend genaue Angaben, wie die Massen in der Milchstraße verteilt sind.

Aufgrund der gemessenen hohen Rotations-Geschwindigkeit im Außenbereich der Galaxie wird ihre Gesamtmasse in vielen Publikationen häufig vier- bis fünffach größer geschätzt. Da nach heutigem Wissensstand der Astronomie diese Masse jedoch nicht aus der sichtbaren Materie hergeleitet werden kann, suchen zahlreiche Forscher auf dem Gebiet der Astronomie fieberhaft nach „Dunkler Materie“.

## 5.0 Massen-Verteilung

5.0

Die Massen-Verteilung wurde so gewählt, dass die Massen-Dichte vom Zentrum bis zum Rand der Galaxie deutlich abnimmt. Die Leuchtkraft der Galaxie ist gleichfalls zur Randzone abnehmend, aber sehr deutlich bis in die Randbereiche vorhanden.

In der Modellrechnung ist die gesamte Masse auf einer Scheibenebene auf zweihundert Gravitationskerne (oder Massen-Konzentrations-Punkte) aufgeteilt. Ein Gravitationskern hat jeweils eine Masse von einer Milliarden x Sonnenmasse.

Die Gravitationskerne sind auf drei Ring-Zonen CL-1, CL-2 und CL-3 sowie auf drei Spiralarme A / B / C und dem Spiralarm D in der Zwischenzone verteilt. Durch diese Anordnung soll eine Ähnlichkeit mit typischen Spiralgalaxien dargestellt werden.

Im vorliegenden Berechnungsmodell sind zwei Spiralgalaxien Typ E und Typ XE mit unterschiedlicher Massen-Verteilung dargestellt und berechnet.

*Wesentlich für die Aussagefähigkeit der Modell-Rechnung ist die Auswahl und Festlegung der erforderlichen Anzahl der Massepunkte und ihre Masse-Konzentration.*

Sind zweihundert Massepunkte ausreichend, um ein differenziertes aussagefähiges Ergebnis über eine Galaxie-Struktur zu erzielen? Diese nicht ganz unwichtige Frage wird letztlich durch das Ergebnis beantwortet. Der Verfasser hat eine Vielzahl kleiner Berechnungsschritte durchgeführt und mit dieser Vorgehensweise ein Berechnungsmodell entwickelt, das aussagefähige Ergebnisse liefert und unterschiedliche Massen-Verteilung sensibel darstellt.

Die maßstäbliche geometrische Darstellung ist in diesem Zusammenhang der Schlüssel zum Ziel. Die graphische Wiedergabe in Verbindung mit dem rechnerischen Ergebnis ermöglicht eine zuverlässige, anschauliche Überprüfung der Zahlen-Kolonnen. Der Verfasser hat Vorberechnungen an symmetrischen Modellen durchgeführt, die Ergebnisse qualitativ analysiert, überprüft und wo notwendig verfeinert. Grundsätzlich gilt, je feiner die Auflösung, umso genauer wird das Ergebnis. Wenn aber die Massen-Verteilung in der Galaxie nicht ausreichend bekannt ist oder nur annähernd geschätzt werden kann, ist eine hohe Auflösung wenig sinnvoll, da der rechnerische Aufwand unnötig vergrößert wird.

Die Gravitationskraft wirkt quadratisch abnehmend mit der Entfernung:  $F_z \hat{=} 1 / R^2$

Das Modell wurde daher in den Nahzonen qualitativ verfeinert, da Massen-Konzentrationen mit geringem Abstand den größten Einfluss auf die Gravitation haben.

Es gelten folgende Kriterien für das Berechnungsmodell

- maßstäbliche Darstellung der Galaxie mit ausreichend vielen Massepunkten;
- gleichmäßige Verteilung der Massepunkte mit annehmender Dichte zu den Randzonen;
- Abbildung von unterschiedlichen Spiral-Strukturen;
- selektive Verfeinerung der Auflösung durch Anzahl und Aufteilung der Massepunkte;
- das Berechnungsmodell muss Variationen der Masse-Verteilung ausreichend genau und stimmig abbilden;
- das Verhältnis von Massen-Konzentration und Abstand muss in sinnvoller Relation stehen; im Nahbereich der Kernmassen ist das örtliche Gravitationsfeld deutlich stärker als das galaktische Gravitationsfeld, und dies würde zu unerwünschten Verzerrungen führen.

## 5.2 Galaxie Typ – E und Typ – XE

In der vorliegenden Berechnung sind zwei Galaxie-Typen durchgerechnet, die hinsichtlich ihrer Gesamtmasse und Ausdehnung identisch sind. Die beiden Typen unterscheiden sich jedoch durch die Verteilung ihrer Massen.

in der Galaxie Typ-E sind 57 % der Gesamtmasse in der Außenzone angesiedelt

in der Galaxie Typ-XE sind 49 % der Gesamtmasse in der Außenzone angesiedelt

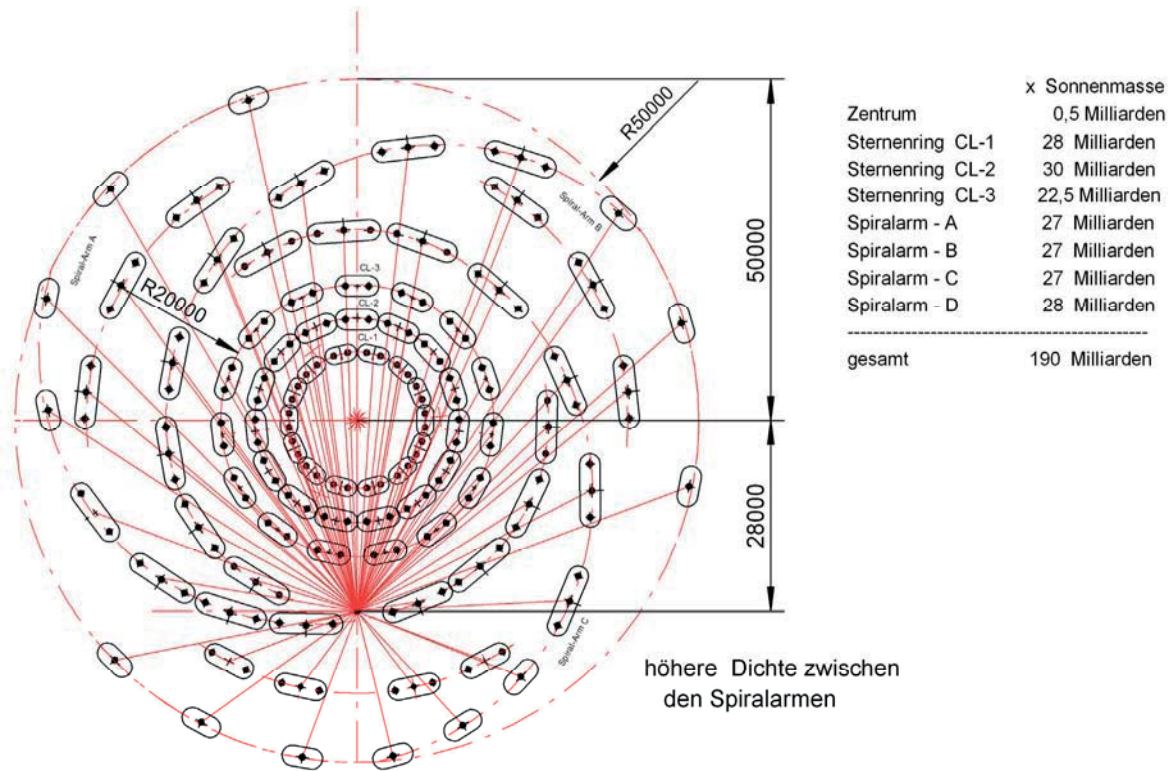
Unterschiedliche Massen-Verteilungen haben Einfluss auf die Rotations-Geschwindigkeit. Das vorliegende Berechnungs-Verfahren stellt diese Differenzen folgerichtig dar und liefert stimmige Ergebnisse. Das Ergebnis ist sehr aufschlussreich, da die unterschiedliche Massen-Verteilung sich in der Rotations-Geschwindigkeit widerspiegelt. Das Ergebnis ist als grafische Kurve im Diagramm 9.3 dargestellt.



### 5.3 Spiralgalaxie BX28 Typ-E

5.3

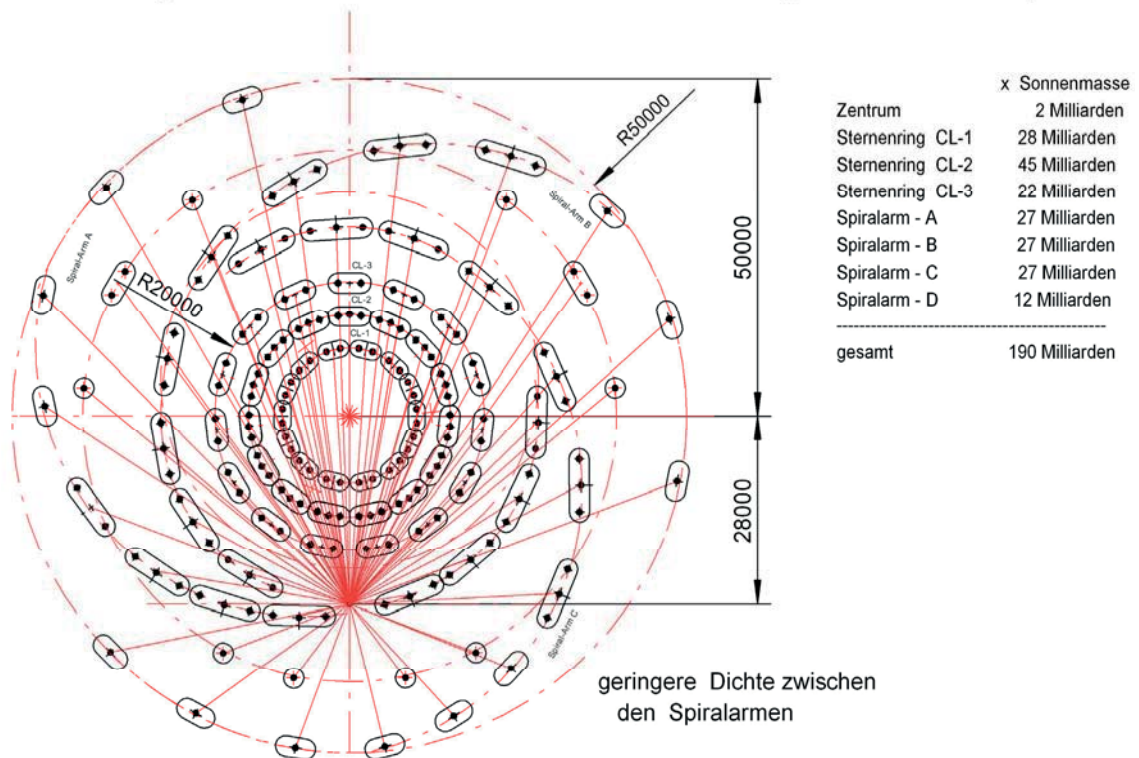
57 % der gesamten Masse befinden sich in der Außenzone größer 20.000 Lichtjahren



### 5.4 Spiralgalaxie BX28 Typ-XE

5.4

49 % der gesamten Masse befinden sich in der Außenzone größer 20.000 Lichtjahren



## 6.0 Berechnungsverfahren

6.0

### *Computer-gestützt grafisch und rechnerisch*

Die Berechnung erfolgt grafisch und rechnerisch. Die Galaxie ist einschließlich aller Massenpunkte maßstäblich mittels „Computer gestützter Konstruktion“ (CAD-System) im Maßstab  $1 \text{ cm} = 5000 \text{ Lichtjahre}$  dargestellt. Lage und Position der Massenpunkte (also ihre Abstände zum galaktischen Zentrum sowie die zugehörigen Winkelmaße) wurden mittels CAD- Konstruktion mit hoher Genauigkeit bestimmt. Die Geometrie-Daten der Massenpunkte wurden dann in ein Rechen-Programm (MS-Excel) übertragen und dort tabellarisch berechnet. Die Wertetabellen sind so strukturiert, dass jeder Rechenwert „per Taschenrechner“ nachgeprüft werden kann.

Das Excel-Programm dient der Berechnung der Y-Kraft-Komponente, die in Richtung des galaktischen Zentrums wirkt. Die Kraft-Komponente wird über die Sinus- oder Cosinus-Funktion (Sinus-Winkel = Gegenkathete zu Hypotenuse) ermittelt. Die Addition aller einzelnen Y-Kraft-Komponenten ergibt die gesamt-resultierende Zentrumskraft. Die Kräfte, die dem Galaxie-Zentrum entgegenwirken, sind gekennzeichnet und subtrahiert, da ihre Kraft-Richtung negativ ist.

## 7.0 Auswahl der Ortspunkte

7.0

Für die geometrische Bestimmung der Kraftlinien, die auf jede Masse im Bereich der Galaxie einwirken, wurden neun Ortspunkte mit jeweils unterschiedlichem Abstand zum Zentrum der Galaxie gewählt. Die Ortspunkte sind gleichzeitig Masse-Konzentrationen, denn wo keine Masse ist, wirkt auch keine Gravitationskraft. Bei der Berechnung der Anziehungskraft wurde für jeden Ortspunkt die Sonnenmasse gewählt. In der nachfolgenden Berechnung der Rotations-Geschwindigkeit muss dann gleichfalls die Sonnenmasse eingesetzt werden. Es ist auch möglich, die Berechnung spezifisch auszuführen, zum Beispiel für die Masse von  $1 \text{ kg}$ . Eine Sternenmasse ist jedoch in der Galaxie anschaulicher als ein „einsames“  $\text{kg}$ . Die Kräfte sind zwar unterschiedlich, aber die Berechnung der Rotations-Geschwindigkeit führt in beiden Fällen zu dem gleichen Ergebnis.

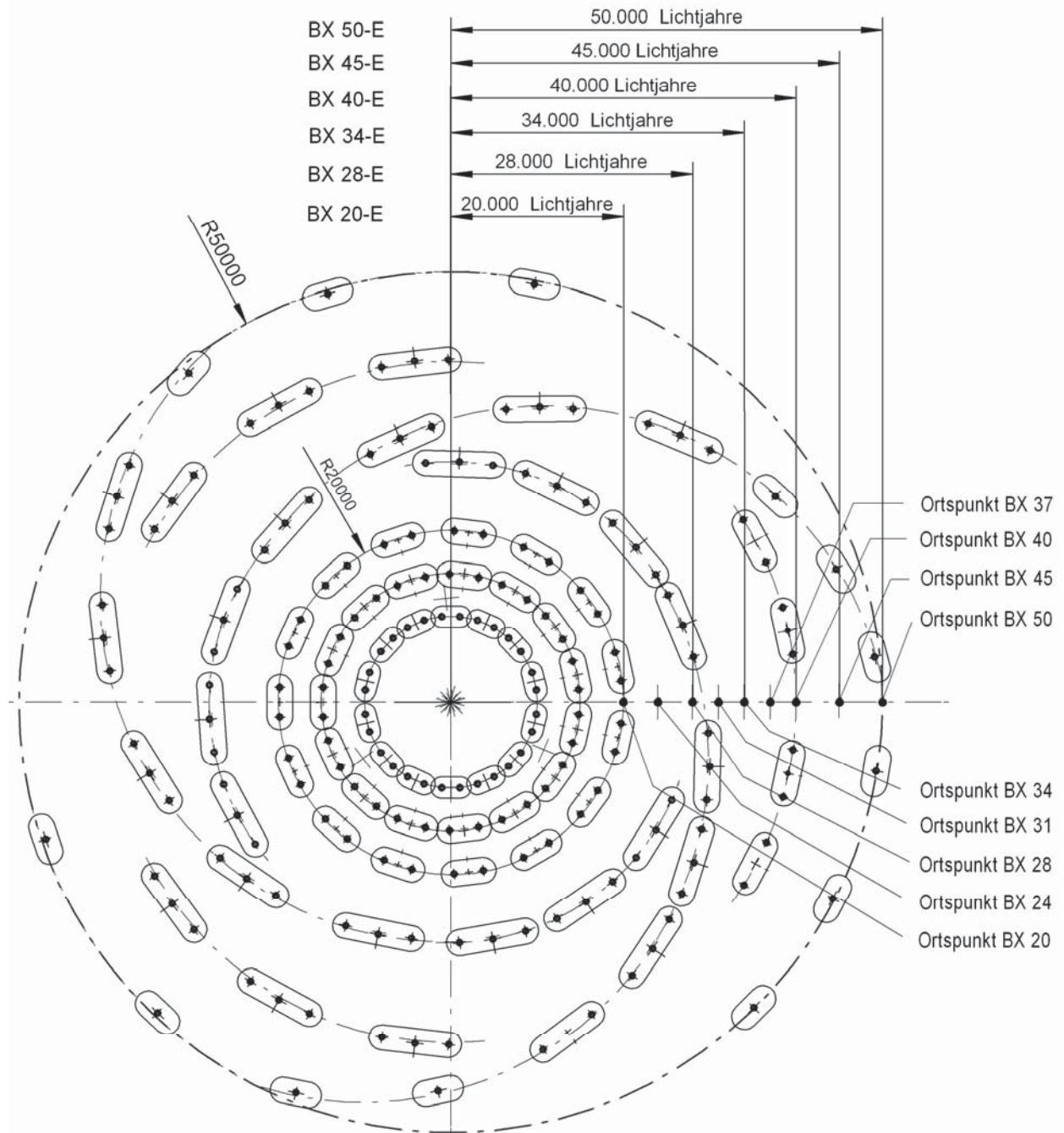
Anmerkung:

Grafische Berechnungs-Verfahren werden in der Technischen Mechanik vielfach eingesetzt, zum Beispiel bei Fachwerk-Tragkonstruktionen. Maßstäblich ausgeführt sind solche Verfahren meist gut verständlich und ermöglichen in vielen Fällen eine rechnerische Parallel-Berechnung.

Eine Galaxie im Maßstab von Lichtjahren abzubilden, ist sicher ungewöhnlich. Der Verfasser hat dazu ein CAD-Programm eingesetzt, um im „Spinnen-Netz“ der Kraftlinien die Übersicht und eine ausreichende Genauigkeit für die Festlegung der geometrischen Daten zu erhalten.

Dies wird besonders verständlich bei den beiliegenden Abbildungen der Galaxie mit dem „Spinnen-Netz“ aus den zugehörigen Kraftlinien.

Durchmesser = 100.000 Lichtjahre / Gesamtmasse = 190 Milliarden x Sonnenmasse



Zur Ermittlung der Rotations-Geschwindigkeit sind neun Ortspunkte gewählt im Abstand von R 20.000 bis R 50.000 Lichtjahren. Die Ortspunkte sind gleichzeitig auch Massepunkte, die alle im galaktischen Kraftfeld liegen.

Für jeden Ortspunkt ist im Anhang Kap. 20.1 bis 20.9 eine maßstäbliche Zeichnung mit den wirksamen Kraftlinien erstellt. Zwecks einheitlicher Berechnung hat jeder Ortspunkt die Masse unserer Sonne.

Auf Basis dieser Zeichnungen sind die Geometrie-Daten der Kraftlinien (Radius und Winkel) ermittelt und in die Kalkulations-Tabellen eingegeben. - siehe Anhang Kapitel 20.0 -

Das Galaxie-Modell ist in drei Ringsysteme CL-1 bis CL-3 und vier Spiralarms A bis D gegliedert. Die vier Spiralarms erstrecken sich vom Radius R 28.000 LJ bis zur Randzone.