

Artikel 4c

Erste massengepaarte SPARC-Pilotanalyse zur Umgebungsabhängigkeit galaktischer Rotationskurven

SWT-Skalenradius, äußere Rotationsanomalie und Ursa-Major-Kontrollvergleich

Heinrich Feuerbach, Dipl.-Inf.

2026

Lizenz: CC BY-NC 4.0

Zusammenfassung

Artikel 4b formulierte ein Studiendesign zur Prüfung der SWT-Hypothese, dass galaktische Rotationskurven nicht nur von der baryonischen Masse, sondern auch von der kosmischen Umgebung abhängen. Der vorliegende Artikel 4c führt eine erste datengetriebene Pilotanalyse auf Grundlage der SPARC-Datenbank durch.

Untersucht wird eine kleine massengepaarte Stichprobe aus zehn Galaxien der Ursa-Major-Umgebung und zehn nicht-Ursa-Major-Kontrollgalaxien ähnlicher baryonischer Masse. Für jede Galaxie werden der SWT-Skalenradius

$$R_S = \frac{GM_{\text{bar}}}{v_{\text{flat}}^2} \quad (1)$$

sowie eine äußere Rotationsanomalie

$$A_{\text{out}} = \text{median} \left(\frac{v_{\text{obs}}}{v_{\text{bar}}} \right)_{\text{äußerer Bereich}} \quad (2)$$

bestimmt.

Die Pilotanalyse findet in dieser kleinen Stichprobe keinen signifikanten Unterschied der R_S -Verteilungen zwischen beiden Gruppen. Die äußere Rotationsanomalie ist in der nicht-Ursa-Major-Kontrollgruppe tendenziell höher, erreicht jedoch ebenfalls keine statistische Signifikanz. Damit liefert Artikel 4c keine Bestätigung der SWT-Umwelthypothese, zeigt aber, wie der Test methodisch mit realen SPARC-Daten durchgeführt werden kann.

1 Einleitung

Die Artikel 4, 4a und 4b entwickelten eine mehrstufige Strategie zur empirischen Prüfung der Strömungs-Widerstands-Theorie (SWT) im Bereich galaktischer Rotationskurven. Artikel 4 formulierte den theoretischen Mechanismus. Artikel 4a führte den beobachtbaren SWT-Skalenradius R_S ein. Artikel 4b beschrieb das Studiendesign für einen systematischen Umwelttest.

Der vorliegende Artikel 4c führt nun eine erste konkrete Pilotanalyse durch. Ziel ist nicht eine endgültige Bestätigung oder Widerlegung der SWT, sondern die exemplarische Anwendung der Methodik auf reale SPARC-Daten.

2 Fragestellung

Die SWT legt nahe, dass die Rotationsdynamik einer Galaxie nicht ausschließlich durch ihre baryonische Masse bestimmt wird, sondern auch durch die großräumige Umgebung. In vereinfachter Form lautet die zu testende Alternative:

$$v(r) = f(M_{\text{bar}}, E_{\text{env}}) \quad (3)$$

gegenüber einer rein massenabhängigen Beschreibung

$$v(r) = f(M_{\text{bar}}). \quad (4)$$

Dabei bezeichnet E_{env} einen Umweltparameter, etwa lokale Galaxiendichte, Void-Nähe oder Clusterzugehörigkeit.

3 Datengrundlage

Die Analyse verwendet die öffentlich verfügbare SPARC-Datenbank. SPARC enthält 175 späte Scheiben- und irreguläre Galaxien mit Spitzer-Photometrie bei $3.6 \mu\text{m}$, HI-/H α -Rotationskurven und baryonischen Massmodellen.

Für die globale Skalenanalyse werden aus der SPARC-Galaxientabelle verwendet:

- $L_{3.6}$: Gesamtlichtkraft bei $3.6 \mu\text{m}$,
- M_{HI} : HI-Gasmasse,
- v_{flat} : asymptotisch flache Rotationsgeschwindigkeit,
- e_v : Unsicherheit von v_{flat} ,
- Q : Qualitätsflag.

Für die äußere Rotationsanomalie werden zusätzlich die vollständigen SPARC-Mass-Modelle verwendet:

- $v_{\text{obs}}(r)$,
- $v_{\text{gas}}(r)$,
- $v_{\text{disk}}(r)$,
- $v_{\text{bulge}}(r)$.

4 Baryonische Masse und Skalenradius

Die baryonische Masse wird näherungsweise bestimmt durch

$$M_{\text{bar}} = 0.5 L_{3.6} + 1.33 M_{\text{HI}}, \quad (5)$$

wobei $L_{3.6}$ und M_{HI} in Einheiten von $10^9 M_{\odot}$ eingesetzt werden. Der Faktor 0.5 entspricht dem angenommenen stellaren Masse-zu-Licht-Verhältnis bei $3.6 \mu\text{m}$, während der Faktor 1.33 die Heliumkorrektur des neutralen Gases berücksichtigt.

Der SWT-Skalenradius lautet

$$R_S = \frac{GM_{\text{bar}}}{v_{\text{flat}}^2}. \quad (6)$$

Mit

$$G = 4.30091 \times 10^{-6} \frac{\text{kpc} (\text{km/s})^2}{M_{\odot}} \quad (7)$$

ergibt sich R_S in Kiloparsec.

5 Äußere Rotationsanomalie

Für jeden Radiuspunkt wird zunächst die baryonische Rotationsgeschwindigkeit berechnet:

$$v_{\text{bar}}(r) = \sqrt{v_{\text{gas}}^2(r) + \Upsilon_{\star} v_{\text{disk}}^2(r) + \Upsilon_{\star} v_{\text{bulge}}^2(r)}. \quad (8)$$

Hier wird wie in der R_S -Berechnung $\Upsilon_{\star} = 0.5$ verwendet.

Die lokale Rotationsanomalie lautet

$$A(r) = \frac{v_{\text{obs}}(r)}{v_{\text{bar}}(r)}. \quad (9)$$

Als äußere Rotationsanomalie A_{out} wird der Median von $A(r)$ im äußeren Drittel der gemessenen Rotationskurve verwendet.

6 Stichprobe

Als dichte Vergleichsgruppe werden zehn Galaxien aus der Ursa-Major-Umgebung verwendet. In SPARC sind Ursa-Major-Objekte durch die Distanzmethode $f_D = 4$ gekennzeichnet. Als Kontrollgruppe werden zehn nicht-Ursa-Major-Galaxien mit Qualitätsflag $Q = 1$ und möglichst ähnlicher baryonischer Masse gewählt.

Die Massenpaarung erfolgt durch Minimierung von

$$|\Delta \log M_{\text{bar}}|. \quad (10)$$

Diese Stichprobe ist kein endgültiger Void-/Cluster-Test. Sie ist eine erste massengepaarte SPARC-Pilotanalyse. Eine spätere Auswertung muss unabhängige Void- und Cluster-Kataloge einbeziehen.

7 Massengepaarte Pilotstichprobe

Nr.	UMa-Galaxie	M_{bar} $10^9 M_{\odot}$	R_S kpc	A_{out}	Kontrolle	M_{bar} $10^9 M_{\odot}$	R_S kpc	A_{out}
1	UGC06399	2.04	1.22	2.20	DDO161	2.11	2.06	1.98
2	UGC06667	1.77	1.09	2.88	UGC04325	1.91	1.00	2.11
3	UGC06917	6.11	2.22	1.98	UGC05005	6.16	2.71	2.32
4	NGC3972	8.79	2.15	1.73	NGC6503	8.74	2.78	2.48
5	NGC3917	13.49	3.14	1.79	UGC01230	12.36	4.94	2.16
6	NGC3893	36.98	5.25	1.73	NGC7814	38.69	3.47	2.08
7	NGC4088	64.58	9.42	1.29	UGC03205	69.69	6.22	1.67
8	NGC4100	33.82	5.81	1.81	NGC3198	33.60	6.41	2.08
9	NGC4157	63.75	8.04	1.71	NGC5033	70.30	8.02	2.01
10	NGC4217	46.06	6.03	1.48	NGC1090	47.70	7.59	1.71

Tabelle 1: Massengepaarte Pilotstichprobe. M_{bar} wurde aus $L_{3,6}$ und M_{HI} berechnet; R_S folgt aus Gleichung (6). A_{out} ist der Median von $v_{\text{obs}}/v_{\text{bar}}$ im äußeren Drittel der jeweiligen Rotationskurve.

8 Deskriptive Statistik

Für den SWT-Skalenradius ergibt sich:

Gruppe	Mittelwert R_S	Median R_S
Kontrollgruppe	4.52 kpc	4.21 kpc
Ursa Major	4.44 kpc	4.20 kpc

Tabelle 2: Deskriptive Statistik des SWT-Skalenradius.

Für die äußere Rotationsanomalie ergibt sich:

Gruppe	Mittelwert A_{out}	Median A_{out}
Kontrollgruppe	2.06	2.08
Ursa Major	1.86	1.76

Tabelle 3: Deskriptive Statistik der äußeren Rotationsanomalie.

9 Statistische Tests

Für R_S liefern die Tests:

Test	p-Wert
Mann–Whitney-U-Test	0.910
Welch-t-Test	0.945
Wilcoxon-Test für Paare	0.557

Tabelle 4: Statistische Tests für R_S .

Für A_{out} ergeben sich:

Test	p-Wert
Mann–Whitney-U-Test	0.162
Welch-t-Test	0.230
Wilcoxon-Test für Paare	0.131

Tabelle 5: Statistische Tests für die äußere Rotationsanomalie A_{out} .

10 Grafische Darstellung



Abbildung 1: Mittelwerte des SWT-Skalenradius R_S in der massengepaarten Pilotstichprobe.

11 Interpretation

Die Pilotanalyse zeigt für R_S praktisch keinen Unterschied zwischen der Ursa-Major-Gruppe und der massengepaarten Kontrollgruppe. Die p-Werte liegen weit oberhalb



Abbildung 2: Mittelwerte der äußeren Rotationsanomalie A_{out} .

konventioneller Signifikanzgrenzen. Damit liefert R_S in dieser ersten Stichprobe keinen Hinweis auf eine deutliche Umgebungsabhängigkeit.

Für A_{out} zeigt sich dagegen eine tendenzielle Differenz: Die Kontrollgruppe besitzt im Mittel eine höhere äußere Rotationsanomalie als die Ursa-Major-Gruppe. Dies geht qualitativ in die von der SWT erwartete Richtung, erreicht in der kleinen Stichprobe jedoch keine statistische Signifikanz.

12 Bedeutung für die SWT

Die Ergebnisse sind vorsichtig zu interpretieren. Sie bestätigen die SWT-Umwelthypothese nicht, widerlegen sie aber auch nicht. Insbesondere ist die hier verwendete Umgebungsdefinition nur eine grobe Näherung: Ursa Major steht für eine dichter definierte Gruppenumgebung, während die Kontrollgruppe nicht automatisch voidnah ist.

Die wichtigste Erkenntnis des Artikels liegt daher methodisch: Die in Artikel 4b vorgeschlagene Analyse kann mit realen SPARC-Daten durchgeführt werden. R_S und A_{out} sind aus den publizierten Daten direkt berechenbar.

13 Grenzen der Analyse

Die vorliegende Analyse besitzt mehrere Einschränkungen:

- Die Stichprobe ist klein.
- Die Kontrollgruppe ist nicht unabhängig als voidnah klassifiziert.
- Die Umweltdefinition beruht zunächst auf der SPARC-Distanzmethode und nicht auf einem externen Void-Katalog.
- Die Massenbestimmung verwendet ein festes $\Upsilon_\star = 0.5$.

- Systematische Unsicherheiten durch Distanz und Inklination wurden noch nicht vollständig propagiert.

14 Nächste Schritte

Eine strengere Folgeanalyse sollte:

1. die vollständige SPARC-Stichprobe verwenden,
2. unabhängige Void-Kataloge einbeziehen,
3. Cluster- und Gruppenzugehörigkeiten extern klassifizieren,
4. $A(r)$ über vollständige Rotationskurvenprofile statt nur über A_{out} untersuchen,
5. Unsicherheiten in Distanz, Inklination und Masse-zu-Licht-Verhältnis vollständig berücksichtigen.

15 Fazit

Artikel 4c liefert die erste datengetriebene Pilotanalyse der SWT-Umwelthypothese mit realen SPARC-Daten. In der hier untersuchten massengepaarten Stichprobe zeigt der SWT-Skalenradius R_S keinen signifikanten Unterschied zwischen Ursa-Major-Galaxien und der Kontrollgruppe.

Die äußere Rotationsanomalie A_{out} ist in der Kontrollgruppe tendenziell höher, jedoch statistisch nicht signifikant. Die Ergebnisse sind daher als methodischer Zwischenschritt zu verstehen, nicht als abschließender Test der SWT.

Literatur

- [1] Lelli, F.; McGaugh, S. S.; Schombert, J. M.: SPARC: Mass Models for 175 Disk Galaxies with Spitzer Photometry and Accurate Rotation Curves. *Astronomical Journal*, 152, 157 (2016).
- [2] Li, P.; Lelli, F.; McGaugh, S. S.; Schombert, J. M.: Fitting the Radial Acceleration Relation to Individual SPARC Galaxies. *Astronomy & Astrophysics*, 615, A3 (2018).
- [3] Milgrom, M.: A Modification of the Newtonian Dynamics as a Possible Alternative to the Hidden Mass Hypothesis. *Astrophysical Journal*, 270, 365–370 (1983).
- [4] Feuerbach, H.: Rotationskurven von Spiralgalaxien in der Strömungs-Widerstandstheorie. SWT Working Paper 4 (2026).
- [5] Feuerbach, H.: Empirische Pilotprüfung der Strömungs-Widerstandstheorie anhand des SWT-Skalenradius. SWT Working Paper 4a (2026).

- [6] Feuerbach, H.: Umgebungsabhängigkeit galaktischer Rotationskurven in der Strömungs-Widerstands-Theorie: Studiendesign, Methodik und statistischer Test. SWT Working Paper 4b (2026).