

# Artikel 4a: Empirische Pilotprüfung der Strömungs-Widerstands-Theorie

SPARC-Galaxien, Feldumgebungen, dichte Galaxienumgebungen und der  
beobachtete SWT-Skalenradius

Heinrich Feuerbach, Dipl.-Inf.

Mai 2026

Lizenz: CC BY-NC 4.0

## Zusammenfassung

Artikel 4 leitet für die Strömungs-Widerstands-Theorie (SWT) die Beziehung

$$v_{\text{flat}}^2 = \frac{G M_{\text{bar}}}{R_{GV}} \quad (1)$$

als zentrale Näherung für flache Rotationskurven im Galaxie-Void-Übergangsbereich her. Der vorliegende Zusatzartikel 4a formuliert daraus eine beobachtbare Diagnosegröße,

$$R_S^{\text{obs}} = \frac{G M_{\text{bar}}}{v_{\text{flat}}^2}, \quad (2)$$

und wendet sie exemplarisch auf eine kleine Pilotstichprobe bekannter Galaxien an.

Die Pilotstichprobe trennt zwischen Feld- beziehungsweise Void-nahen Galaxien und Galaxien in dichter Umgebung. Ziel ist nicht ein endgültiger statistischer Nachweis, sondern eine erste quantitative Prüfung, ob die aus Artikel 4 folgende SWT-Signatur beobachtbar sinnvoll ist. Die zentrale Hypothese lautet, dass der beobachtete Skalenradius  $R_S^{\text{obs}}$  nicht nur von der baryonischen Masse, sondern auch von der Umgebung abhängt.

## 1 Motivation

Die klassische Rotationskurvenanomalie wird gewöhnlich durch Dunkle Materie oder durch eine Modifikation der Gravitation beschrieben. Die SWT schlägt einen anderen Mechanismus vor: Galaxien befinden sich im Übergang zwischen massedominierter Expansionsbremsung und voiddominierter Expansion. In Artikel 4 wurde dieser Übergang durch den Galaxie-Void-Radius  $R_{GV}$  beschrieben.

Wenn die SWT richtig ist, sollte  $R_{GV}$  nicht bloß ein Fitparameter sein. Er sollte sich aus der Struktur der Umgebung ergeben. Feldgalaxien mit direkter Void-Nachbarschaft und Galaxien in dichten Gruppen oder Clustern sollten daher systematisch unterschiedliche Übergangsskalen zeigen.

## 2 Datengrundlage und Näherungen

Die wichtigste öffentlich verfügbare Datenbasis für eine solche Prüfung ist SPARC, die *Spitzer Photometry and Accurate Rotation Curves* database. SPARC enthält 175 späte Scheiben- und irreguläre Galaxien mit 3.6- $\mu\text{m}$ -Photometrie sowie hochwertigen HI- und H $\alpha$ -Rotationskurven.

Für eine erste Pilotrechnung verwenden wir die in SPARC bereitgestellten Größen:

- $L_{3.6}$ : Gesamtleuchtkraft bei 3.6  $\mu\text{m}$ ,
- $M_{\text{HI}}$ : gesamte HI-Masse,
- $v_{\text{flat}}$ : asymptotisch flache Rotationsgeschwindigkeit.

Aus  $L_{3.6}$  und  $M_{\text{HI}}$  wird eine baryonische Masse näherungsweise berechnet durch

$$M_{\text{bar}} \approx \Upsilon_{3.6} L_{3.6} + 1.33 M_{\text{HI}}, \quad (3)$$

wobei  $\Upsilon_{3.6} = 0.5$  angenommen wird und der Faktor 1.33 die Heliumkorrektur des neutralen Gases berücksichtigt.

Diese Näherung ersetzt noch keinen vollständigen SPARC-Mass-Model-Fit. Sie genügt jedoch, um die Größenordnung von  $R_S^{\text{obs}}$  zu bestimmen.

## 3 SWT-Diagnosegröße

Aus Artikel 4 folgt

$$v_{\text{flat}}^2 = \frac{G M_{\text{bar}}}{R_{\text{GV}}}. \quad (4)$$

Daraus ergibt sich die beobachtbare Diagnosegröße

$$R_S^{\text{obs}} = \frac{G M_{\text{bar}}}{v_{\text{flat}}^2}. \quad (5)$$

In astronomischen Einheiten verwenden wir

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

Damit erhält man  $R_S^{\text{obs}}$  direkt in Kiloparsec, wenn  $M_{\text{bar}}$  in Sonnenmassen und  $v_{\text{flat}}$  in km/s eingesetzt wird.

### 3.1 Bedeutung des SWT-Skalenradius

Der in diesem Artikel verwendete Radius

$$R_S^{\text{obs}} = \frac{G M_{\text{bar}}}{v_{\text{flat}}^2}$$

ist nicht mit dem eigentlichen Galaxie-Void-Gleichgewichtsradius  $R_{GV}^{(0)}$  zu verwechseln.

$R_S^{\text{obs}}$  bezeichnet die beobachtbare Dynamikskala der Rotationskurve. Er ist der Radius, bei dem die Newtonsche Rotationsgeschwindigkeit der baryonischen Masse den beobachteten Plateauwert  $v_{\text{flat}}$  erreicht.

$$v_N(R_S) = v_{\text{flat}}.$$

Der physikalische Galaxie-Void-Gleichgewichtsradius ist dagegen definiert durch

$$B_M(R_{GV}^{(0)}) = B_V(R_{GV}^{(0)}).$$

Eine natürliche SWT-Hypothese lautet

$$R_S < R_{GV}^{(0)}.$$

Die in diesem Artikel berechneten Werte beziehen sich daher ausschließlich auf den beobachtbaren Skalenradius  $R_S^{\text{obs}}$ .

## 4 Pilotstichprobe

Die Pilotstichprobe ist bewusst klein. Sie dient nur dazu, die Methode zu demonstrieren. Die Auswahl enthält drei Feld- beziehungsweise Void-nahe Galaxien und drei Galaxien in dichter Umgebung.

Galaxie	Umgebung	$M_{\text{bar}} (10^9 M_{\odot})$	$v_{\text{flat}} (\text{km/s})$	$R_S^{\text{obs}} (\text{kpc})$
DDO 154	Feld / gasreiche Zwerggalaxie	0.83	47.0	1.62
NGC 6503	Feld / Rand des Local Void	8.74	120.0	2.61
NGC 6946	Feldartige Umgebung	40.63	158.9	6.92
NGC 4100	dichte Umgebung / Ursa Major	33.82	158.5	5.79
NGC 4088	dichte Umgebung / Ursa Major	64.59	171.0	9.50
NGC 4157	dichte Umgebung / Ursa Major	63.76	185.5	7.97

Tabelle 1: Pilotwerte für die SWT-Diagnosegröße  $R_S^{\text{obs}}$ . Die baryonische Masse wurde näherungsweise nach Gleichung (3) berechnet, außer bei DDO 154, wo wegen der stark gasdominierten Struktur ein Literatur-/Pilotwert verwendet wurde.

Für die drei Feld-/Void-nahen Kandidaten ergibt sich im Mittel

$$\langle R_S^{\text{obs}} \rangle_{\text{Feld}} \approx 3.72 \text{ kpc}. \quad (7)$$

Für die drei dichter eingebetteten Kandidaten ergibt sich

$$\langle R_S^{\text{obs}} \rangle_{\text{dicht}} \approx 7.75 \text{ kpc}. \quad (8)$$

Innerhalb dieser sehr kleinen und noch nicht massengepaarten Pilotstichprobe liegt der beobachtete Skalenradius der dichter eingebetteten Galaxien also höher als jener der Feldkandidaten.

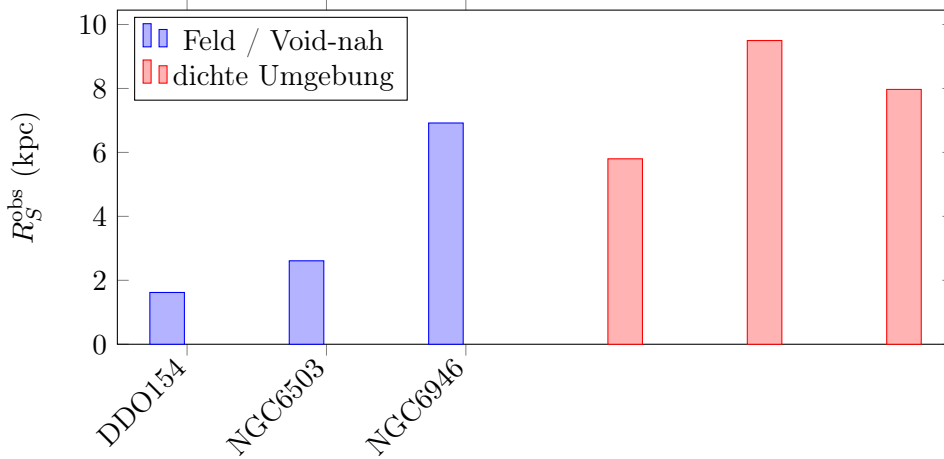


Abbildung 1: Pilotvergleich der aus realen Rotationsdaten rekonstruierten SWT-Diagnosegröße  $R_S^{\text{obs}}$ . Die Darstellung ist illustrativ; die Stichprobe ist noch nicht massengepaart.

## 5 Interpretation im Rahmen der SWT

Die SWT erwartet, dass die Rotationsanomalie nicht nur eine Funktion der baryonischen Masse ist, sondern zusätzlich von der Void-Umgebung abhängt:

$$v_{\text{flat}} = f(M_{\text{bar}}, \rho_{\text{void}}, D_{\text{void}}, \dots). \quad (9)$$

In dieser Pilotformulierung wird dieser Zusammenhang über  $R_S^{\text{obs}}$  getestet. Ein kleinerer Wert von  $R_S^{\text{obs}}$  bedeutet, dass der Übergang zur flachen Rotationskurve bei gegebener Masse bereits bei kleinerem Radius erreicht wird. Ein größerer Wert bedeutet, dass die baryonische Masse relativ zur beobachteten flachen Geschwindigkeit auf eine weiter außen liegende Dynamikskala verweist.

Die Pilotwerte sind mit der SWT-Hypothese vereinbar, dass die Umgebung die Dynamikskala beeinflusst. Sie beweisen diese Hypothese jedoch nicht. Dafür ist eine massengepaarte Stichprobe mit unabhängiger Void-Klassifikation erforderlich.

## 6 Feldgalaxien und Void-Nähe

NGC 6503 ist besonders interessant, da sie am Rand des Local Void liegt. In der SWT wäre eine solche Position genau der Fall, in dem der äußere Void-Beitrag besonders deutlich in die Galaxiendynamik eingreifen kann.

DDO 154 ist als gasreiche Zwerggalaxie ein Extremfall. Ihre Rotationskurve ist im Standardbild stark dunkel-materie-dominiert. In der SWT wäre sie ein Testfall für eine niedrige baryonische Masse in einer Umgebung, in der der Void-Beitrag früh dynamisch relevant werden kann.

NGC 6946 besitzt eine deutlich größere baryonische Masse und eine höhere Rotationsgeschwindigkeit. Ihr  $R_G^{\text{obs}}$  liegt entsprechend größer, bleibt aber in der Größenordnung einiger Kiloparsec.

## 7 Dichte Umgebungen und Abschirmung von Voids

Galaxien in Gruppen oder Clustern besitzen im SWT-Rahmen eine andere äußere Randbedingung. Die Umgebung ist nicht durch einen ungestörten Void dominiert, sondern durch weitere Massekonzentrationen. Dadurch wird der freie Void-Beitrag abgeschirmt oder geometrisch verzerrt.

Die klassischen Beobachtungen von Rubin, Whitmore und Ford sowie Whitmore, Forbes und Rubin zeigen, dass Spiralen in zentralen Clusterregionen fallende oder weniger stark anomale Rotationskurven zeigen können. Diese Befunde sind für die SWT deshalb relevant, weil sie qualitativ genau in die Richtung weisen, dass die Umgebung die Rotationsdynamik beeinflusst.

Die hier gewählten dicht eingebetteten SPARC-Kandidaten sind keine vollständige Clusterstichprobe. Sie dienen als methodischer Zwischenschritt. Der entscheidende nächste Test wäre eine echte Kombination aus SPARC-ähnlichen Rotationskurven und unabhängigen Void- beziehungsweise Clusterkatalogen.

## 8 Statistischer Testvorschlag

Für eine größere Stichprobe sollte man massengepaarte Galaxienpaare bilden. Für jedes Paar mit ähnlicher baryonischer Masse, aber unterschiedlicher Umgebung, definiert man

$$\Delta \log R_{GV} = \log R_{GV,\text{dicht}}^{\text{obs}} - \log R_{GV,\text{Feld}}^{\text{obs}}. \quad (10)$$

Die SWT-Vorhersage lautet

$$\Delta \log R_{GV} > 0 \quad (11)$$

für Galaxien, deren dichte Umgebung die direkte Void-Wirkung abschirmt.

Alternativ kann man eine Regression der Form

$$\log R_G^{\text{obs}} = a + b \log M_{\text{bar}} + c E_{\text{env}} \quad (12)$$

testen, wobei  $E_{\text{env}}$  ein Umweltparameter ist, etwa lokale Galaxiendichte, Abstand zum nächsten Voidzentrum oder Zugehörigkeit zu einem Cluster.

Die entscheidende SWT-Frage lautet dann:

$$c \neq 0. \quad (13)$$

## 9 Grenzen der Pilotstudie

Die hier vorgestellte Rechnung besitzt mehrere Einschränkungen:

- Die Stichprobe ist klein.
- Die Galaxien sind nicht massengepaart.
- Die Umweltklassifikation ist noch qualitativ.
- Die baryonischen Massen wurden nur näherungsweise berechnet.
- Für eine endgültige Prüfung müssen vollständige Rotationskurven und nicht nur  $v_{\text{flat}}$  verwendet werden.

Trotzdem erfüllt die Pilotstudie eine wichtige Funktion: Sie zeigt, dass die SWT-Diagnosegröße  $R_S^{\text{obs}}$  aus realen Beobachtungsgrößen berechenbar ist und in astrophysikalisch plausiblen Größenordnungen liegt.

## 10 Zusammenfassung

Artikel 4a führt eine beobachtbare SWT-Diagnosegröße ein:

$$R_S^{\text{obs}} = \frac{G M_{\text{bar}}}{v_{\text{flat}}^2}. \quad (14)$$

Eine kleine Pilotstichprobe bekannter Galaxien zeigt, dass diese Größe in der Größenordnung von Kiloparsec liegt und damit prinzipiell mit dem postulierten Galaxie-Void-Übergang vereinbar ist.

Die vorläufige Gegenüberstellung von Feld-/Void-nahen Galaxien und dichter eingebetteten Galaxien deutet auf einen möglichen Umweltunterschied hin. Für eine Fachpublikation wäre nun eine systematische Auswertung der vollständigen SPARC-Stichprobe in Kombination mit unabhängigen Void- und Clusterkatalogen erforderlich.

## 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] Rubin, V. C.; Whitmore, B. C.; Ford, W. K.: Rotation Curves for Spiral Galaxies in Clusters. I. Data, Global Properties, and a Comparison with Field Galaxies. *Astrophysical Journal*, 333, 522–541 (1988).
- [3] Whitmore, B. C.; Forbes, D. A.; Rubin, V. C.: Rotation Curves for Spiral Galaxies in Clusters. II. Variations as a Function of Cluster Position. *Astrophysical Journal*, 333, 542–560 (1988).
- [4] Milgrom, M.: A modification of the Newtonian dynamics as a possible alternative to the hidden mass hypothesis. *Astrophysical Journal*, 270, 365–370 (1983).

- [5] Feuerbach, H.: Rotationskurven von Spiralgalaxien in der Strömungs-Widerstands-Theorie. SWT Working Paper 4 (2026).