



**MASTERARBEIT**

**„Asymptotisch freie Mimetische Gravitation“**

**TOBIAS B. RUSS**

Elitestudiengang Theoretische und Mathematische Physik

Ludwig-Maximilians-Universität München und Technische Universität München,  
Dezember 2018

# Asymptotisch freie Mimetische Gravitation

Tobias B. Russ hat im Elitestudiengang „Theoretische und Mathematische Physik“ an der Ludwig-Maximilians-Universität München und der Technischen Universität München studiert. Im Rahmen seiner Masterarbeit „On Singularity Resolution in Asymptotically Free Mimetic Gravity“ arbeitete er an einer modifizierten Theorie der Gravitation. Betreut wurde er dabei von Prof. Dr. Viatcheslav Mukhanov.

## Gravitation: Newton, Einstein und darüber hinaus

Seit Newton wissen wir: Die Gravitationskraft, die zwei Massen aufeinander ausüben, ist proportional zum Produkt der Massen geteilt durch deren Abstandsquadrat. Die Proportionalitätskonstante ist die „Newtonsche Gravitationskonstante“.

Hieraus ergibt sich das „Äquivalenzprinzip“: Gravitation wirkt auf alle Massen gleich. Diese Erkenntnis ist eine der Grundlagen, auf denen Albert Einstein seine Allgemeine Relativitätstheorie aufbaute. Wie sich Massen bewegen ist bestimmt durch die Geometrie der Raumzeit, deren Krümmung wiederum ist bestimmt durch die Verteilung der Massen.

Es ist einer der großen Erfolge der Physik, dass die Theorie die auf diesen einfachen theoretischen Prinzipien beruht auch experimentell bis zum heutigen Tag nicht widerlegt werden konnte. Trotzdem beschreibt sie auch ihren eigenen Zusammenbruch: Wie Hawking und Penrose in den 1960er Jahren zeigen konnten, sagt die Allgemeine Relativitätstheorie die Entwicklung von Singularitäten aus typischen physikalischen Anfangsbedingungen voraus. Dies sind „Löcher“ in der Raumzeit, an denen die Krümmung unendlich anwächst, zum Beispiel am Beginn eines sich ausdehnenden Universums, dem Urknall, oder im Innern eines Schwarzen Loches.

## Eine obere Schranke für die Krümmung

Der Standardzugang um mit diesem Problem umzugehen ist, dessen Lösung an eine noch unbekannte Theorie der Quantengravitation zu delegieren. Aus einer Vielzahl von Gedankenexperimenten geht hervor, dass spätestens bei Erreichen der extrem großen „Planck-Krümmung“ ohnehin die Quantenphysik das Ruder übernehmen sollte. Wie dies jedoch im Detail funktionieren soll, ist jedoch bis dato unklar.

Ein anderer Zugang zur Lösung des Singularitätenproblems ist es, die Relativitätstheorie schon vor Erreichen des Planck-Regimes zu modifizieren. Würde es in dieser Modifikation eine stärkste Krümmung geben, müsste man die Domäne der Quantengravitation nie betreten, sondern könnte das Problem rein klassisch lösen. Eine solche Modifikation könnte man wiederum als eine „effektive Theorie der Quantengravitation“ auffassen.

## Mimetische Gravitation und Asymptotische Freiheit

Um etwas an der Allgemeinen Relativitätstheorie zu verändern, scheint es, als müsste man eines der zugrundeliegenden Prinzipien verletzen. Ein Ausweg aus dieser Argumentation ist es, noch weitere Felder neben der Metrik der Raumzeit einzuführen.

Im Falle der „Mimetische Gravitation“ ist dies das sogenannte mimetische Feld. Dieses skalare Feld ist allerdings weniger ein echter neuer physikalischer Freiheitsgrad als vielmehr eine Neudurchmischung der Freiheitsgrade der Metrik selbst. Diese Modifikation erlaubt es nun, eine Skalenabhängigkeit der Gravitationskonstante und der „kosmologischen Konstante“ einzuführen und dies unter Beibehaltung der Prinzipien der Allgemeinen Relativitätstheorie.

Will man diese Klasse von Theorien nun verwenden, um die Singularitäten zu beseitigen, stellt sich heraus, dass dies nur durch „asymptotische Freiheit“ zu bewerkstelligen ist: die maximale Krümmung wird durch eine Gravitationskonstante, die gegen null strebt, realisiert. In diesem Fall tritt anstelle der Singularität ein Übergang zu einer Phase der Inflation, einer exponentiell beschleunigten Ausdehnung des frühen Universums. Die Forderung nach endlicher Krümmung liefert also als Nebenprodukt einen Mechanismus zur Erklärung dieser mittlerweile weitgehend etablierten kosmologischen Theorie.

Ob und wie eine solche Theorie auch die Singularität in Schwarzen Löchern auflösen kann, bleibt Gegenstand zukünftiger Forschung.



Die Milchstraße am Nachthimmel.  
Rechte: rechtefrei

Mehr zum Elitestudiengang Theoretische und Mathematische Physik:

🔗 <https://www.theorie.physik.uni-muenchen.de/TMP/theses>