

Riemannsche Metriken in der Astrophysik

Einen Punkt im Raum können wir dadurch bezeichnen, dass wir angeben, wie weit er nach rechts, nach vorn und nach oben von einem gewählten Bezugspunkt entfernt ist. Diese Angaben heißen *Koordinaten* des Punktes. Die Koordinaten eines Punktes hängen natürlich davon ab, welchen Bezugspunkt der Beobachter gewählt hat (*Wahl des Ursprungs*) und welche Richtungen er als rechts, vorn oder oben wählt (*Wahl des Koordinatensystems*).

Diese Darstellungsweise ist allerdings für viele physikalische Anwendungen zu einfach. Wird z.B. in der Astrophysik die Erde als Ursprung verwendet, so ist bei dieser Modellierung zu beachten, dass die Erde sich um die eigene Achse dreht und sich selbst im Raum bewegt, d.h. das Koordinatensystem ändert sich ständig. Daher ist es notwendig, die Eigenschaften des Raums mathematisch so zu fassen, dass sie unabhängig von der Wahl des Koordinatensystems beschrieben werden können.



Foto: NASA and ESA

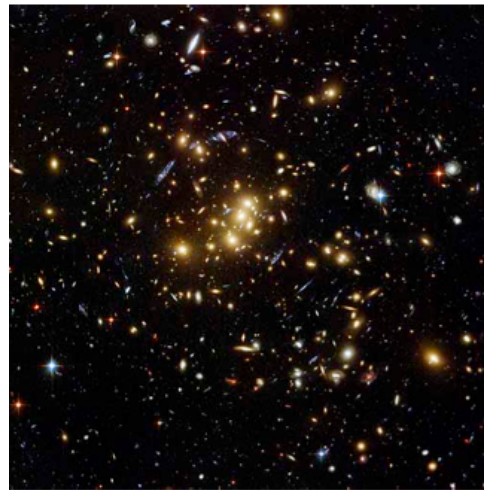
Die **Feuerrad Galaxie** ist eine sehr große Spiralgalaxie, auf die wir fast senkrecht schauen. Sie ist ca. 25 Mio Lichtjahre entfernt und hat einen Durchmesser von 170.000 Lichtjahren. In ihrem Zentrum wird ein Schwarzes Loch vermutet.

Die *allgemeine Relativitätstheorie* besagt zudem, dass das Universum durch die Gravitation von Sternen und Galaxien gekrümmt wird, so dass beispielsweise Lichtstrahlen sich nicht entlang Geraden, sondern entlang gekrümmter Bahnen bewegen. Diese Beobachtung wird in der mathematischen Modellierung dadurch umgesetzt, dass auf dem Raum eine so genannte *Riemannsche Metrik* eingeführt wird, die diese Raumkrümmung formalisiert und so eine genauere Beschreibung des Universums ermöglicht.

Eine der Vorhersagen aus dieser Modellierung war die Existenz Schwarzer Löcher, also einer Verdichtung von Materie, die eine so starke Krümmung erzeugt, dass kein Licht mehr austreten kann. Albert Einstein, dessen allgemeine Relativitätstheorie die Grundlage dieses Modells bildet, lehnte zeitlebens die mathematische Modellierung Schwarzer Löcher als „unlogisches und unphysikalisches Konstrukt“ ab. Für ihn waren Schwarze Löcher schlichtweg undenkbar.

Es bedurfte mehrerer Jahrzehnte, bis die Vorhersage der theoretischen Modelle bestätigt wurde. Dank verbesserter Teleskopaufnahmen konnte inzwischen die Existenz Schwarzer Löcher nachgewiesen werden. Vermutlich befinden sie sich in den Zentren aller Galaxien, die sich dann meist strudelförmig um dieses Schwarze Loch bewegen.

Ein weiteres Beispiel für Vorhersagen der differentialgeometrischen Modelle ist die Existenz der so genannten *dunklen Materie*. Durch Vergleiche der mathematischen Modelle mit den neuesten Aufnahmen beispielsweise des *Hubble-Teleskops* kommt



Galaxienhaufen Cl 0024+17, in einer Aufnahme des Weltraumteleskops „Hubbles“ (2007). Im Hintergrund erkennt man entferntere Galaxien, deren Licht durch Dunkle Materie abgelenkt wird.



Visualisierung der dunklen Materie in nebenstehendem Bild, aufgrund der Ablenkung der Lichtstrahlen weiter entfernter Galaxien. Weshalb die Dunkle Materie hier ringförmig auftritt, ist noch nicht vollständig geklärt.

man zu dem Schluss, dass mindestens 20% der Materie des Universums aus *dunkler Materie* besteht. Damit bezeichnet man Materie, die zwar ein Gravitationsfeld aufbaut, also den umliegenden Raum krümmt, aber weder mit Licht noch mit elektromagnetischen Wellen noch mit gewöhnlicher Materie interagiert und daher nicht sichtbar ist. Diese Materie kann nur durch die Änderung des Gravitationsfeldes, also der Riemannschen Metrik, in ihrer Nähe nachgewiesen werden. Auch hier ist die Beschreibung des Krümmungsverhaltens des Raumes mit den Methoden der Riemannschen Geometrie von zentraler Bedeutung.