# Gegen Dunkle Materie –
# Eine neue Theorie der Gravitation

## Inhaltsverzeichnis

## Abstract

Im Folgenden werde ich eine neue Sicht der Gravitation präsentieren, durch die sich die Möglichkeit bietet, die Effekte, die gegenwärtig der *Dunklen Materie* zugeschrieben werden, als gravitative Wirkung der bekannten, leuchtenden Materie zu verstehen.

Zur Methode:

Ontologische Überlegungen führen zu einer Gleichung, die als Beschreibung des Prozesses aufgefasst werden kann, der die Wirklichkeit hervorbringt. Auf Basis einer metrischen Annahme lässt sich aus dieser Gleichung ein Modell der Gravitation ableiten, das im Fall einer dominanten zentralen Masse – etwa in der Nähe von Planeten oder auch in Sonnensystemen – dieselben Ergebnisse liefert wie das Modell Newtons – bzw. genauer: wie das Modell Einsteins, was an den bekannten Tests der Allgemeinen Relativitätstheorie demonstriert werden kann. Im allgemeinen Fall weicht das neue Modell aber davon ab, vor allem bei Systemen mit großem Gesamtdrehmoment; z.B. ist bei Galaxien eine wesentlich höhere Rotationsgeschwindigkeit zu erwarten.[1]

Außerdem wird ein Vorschlag für ein Experiment präsentiert, das zwischen der Allgemeinen Relativitätstheorie und meiner Theorie entscheiden kann (siehe Seite 21/22). Es entspricht dem Mößbauer-Experiment von Robert Pound und Glen Rebka.

## 0. Einleitende Bemerkungen

Die Theorie, die ich hier vorstelle, liegt inhaltlich und formal weit außerhalb gegenwärtiger physikalischer Gewohnheiten und Erwartungen. Deshalb will ich mit einigen vorbereitenden Bemerkungen beginnen.

(Ich bezeichne meine Gravitationstheorie als *metrisch-dynamische Gravitation*. Im Folgenden steht MD für diese Theorie, AR für die Allgemeine Relativitätstheorie.)

Der Kern meiner Theorie lässt sich am besten durch folgenden Vergleich erfassen:

In Newtons Theorie wirkt *Masse* auf *Masse*. In der AR wirkt *Masse* auf *Raumzeit*. In der MD wirkt *Metrik* auf *Metrik*: metrische Verdichtung bewirkt metrische Beschleunigung.

Das bedeutet: *die Metrik selbst* gerät in Bewegung, und erst dadurch werden auch die Massen beschleunigt.

Der *metrische Fluss* ist das zentrale Konzept der MD: Gravitation wird als *Beschleunigung des metrischen Flusses* verstanden, die durch *metrische Verdichtung der Länge* (Verkürzung der Längeneinheit) verursacht wird.

Im kugelsymmetrischen Fall einer einzigen nicht-rotierenden Masse – d.h. im Fall der Schwarzschildlösung der AR – stimmen AR und MD vollkommen überein. Überraschenderweise besteht diese Übereinstimmung jedoch *ausschließlich* in diesem Fall, und auch hier nur hinsichtlich der Außenraumlösung.

Falls das betrachtete System mehrere Massen enthält, weichen die beiden Theorien jedoch voneinander ab, und in noch wesentlich höherem Maß hängt die Verschiedenheit der Resultate von der Größe des Gesamtdrehmoments des Systems ab.

Im Gravitationsfeld von Planeten sowie in Sonnensystemen ist diese Abweichung aufgrund der Dominanz der zentralen Masse und der relativen Kleinheit des Gesamtdrehmoments allerdings so gering, dass sie fast immer vernachlässigt werden kann; Bei Galaxien ist das aber nicht der Fall:

---

1 Wer nur am formalen Teil interessiert ist, dem schlage ich vor, gleich mit Abschnitt 4 zu beginnen. Mir selbst erschien es aber unerlässlich, zu beschreiben, welche Überlegungen dorthin geführt haben.

hier befindet sich der Großteil der Gesamtmasse außerhalb des Zentrums, und das Gesamt-drehmoment ist in fast allen Fällen ungeheuer groß.

Unter diesen Voraussetzungen folgt aus der MD eine signifikant höhere Rotationsgeschwindigkeit der äußeren Bereiche von Galaxien als aus der AR. Es eröffnet sich also die Möglichkeit, dass auf dunkle Materie zur Erklärung der hohen Rotationsgeschwindigkeit verzichtet werden kann.

Der fundamentale Unterschied zwischen AR und MD besteht in der Auffassung des Raums: in der MD wird *der Raum selbst* – als metrischer Raum verstanden – in Bewegung versetzt, und genau das ist der Grund für die wesentlich höhere Rotationsgeschwindigkeit von Galaxien. Von der AR aus gesehen ist diese dynamische Sicht des Raums unerreichbar.

Soviel zum inhaltlichen Unterschied zwischen AR und MD.

Noch weiter entfernt von aktuellen Denkmustern ist der Begründungszusammenhang der MD: Sie resultiert aus einer Gleichung, die sich aus Überlegungen zur Entstehung der Wirklichkeit ergibt.

Die Ableitung dieser Gleichung erfolgte zunächst ohne bestimmte Absicht; keinesfalls war sie als Ausgangspunkt einer Gravitationstheorie geplant. Allerdings folgt Newtons Gravitation nahezu unmittelbar aus ihr – nach nur einem einzigen Schritt – und die Ableitung der Periheldrehung erfordert ebenfalls nur wenige Zeilen. Und schließlich führt die auf diese Weise gewonnene neue Sicht der Gravitation zu einer wesentlich höheren Rotationsgeschwindigkeit von Galaxien – und auch hier wiederum ohne jede Absicht, sondern einfach *von selbst.*

In meinen Augen stellt das eine klare Motivation dafür dar, die neue Gravitationstheorie in die Beurteilung der aktuellen Probleme bezüglich der Galaxienrotation einzubeziehen.

## 1. Der Prozess, der die Wirklichkeit hervorbringt

**Das erste Ziel** ist, zu untersuchen, ob Aussagen über dasjenige möglich sind, woraus die Wirklich-keit entsteht. Der Zweck dieser Aussagen wird aber nicht in ihnen selbst liegen (wie das in der Metaphysik bisher der Fall war), vielmehr sollen sie danach beurteilt werden, in welchem Maß sie als Basis für die Ableitung und Erklärung der physikalischen Beschreibung der Wirklichkeit geeignet sind.

Wenn man Existenz *begründen* will, kann man nicht mit etwas beginnen, was selbst schon existiert. Dasjenige, was die Wirklichkeit hervorbringt, muss daher – im ontologischen Sinn – ***vor*** aller Existenz liegen. Es ist also *kein Objekt.* Daraus folgt, dass wir es als das, was es "ist", nicht denken können, da unser Denken das Netz der Beziehungen zwischen Objekten nicht verlassen kann.

Aber auch wenn wir es als *es selbst* nicht denken können, ist es dennoch möglich, *über es* etwas auszusagen:

(1) Da wir voraussetzen, dass es die Wirklichkeit hervorbringt, müssen wir ihm *Aktivität* zuschreiben. (Ich werde es deshalb als AGENS bezeichnen.)

(2) Ohne Vergleich gibt es keine Unterscheidung. Also setzt Unterscheidung *Existenz* voraus. Somit muss AGENS *in sich unterschiedslos* sein.

(3) Dass AGENS *aktiv* ist, bedeutet, dass es seine Unterschiedslosigkeit aufhebt: AGENS ist *Das-Sich-Verändernde*. Indem AGENS sich verändert, erzeugt es Unterschiede und steigt damit zur *Existenz* auf.

**Das zweite Ziel** ist, diese Aussagen über AGENS in eine mathematische Form zu bringen. Zu diesem Zweck wechseln wir nun vom *Ursprung der Wirklichkeit* zum *Ursprung der Beschreibung der Wirklichkeit* – oder, um es philosophisch auszudrücken: wir wechseln von dem, was AGENS *an sich* ist, zu dem, was es *für uns* ist.

Unsere Aufgabe ist es also, dasjenige zu bestimmen, was für eine Beschreibung der Wirklichkeit denselben Status hat wie AGENS für die Wirklichkeit selbst.

Was ist AGENS? Die logische und ontologische Voraussetzung der Wirklichkeit.

Was sind die logischen und ontologischen Voraussetzungen der Beschreibung der Wirklichkeit?

*Raum und Zeit*.

Das bedeutet: *Für uns* ist AGENS *Raum und Zeit*.

Nach (3) bringt AGENS die Wirklichkeit hervor, indem es sich ändert. Daher beginnen wir den Aufbau unserer Beschreibung der Wirklichkeit mit der Beschreibung einer Änderung.

Die erste Frage ist: *Was* ändert sich?

Das, was AGENS *für uns* ist: Raum und Zeit. (Da wir noch *vor* aller Existenz sind, *kann* es nur Raum oder Zeit sein, was sich ändert.)

Die zweite Frage ist: *Wie* stellen wir diese Änderung dar?

Nach (2) ist AGENS *in sich unterschiedslos*. Es gibt also *keine Struktur und kein Gedächtnis.* Das bedeutet, dass sich jede zeitliche Änderung nur auf den jeweils vorhergehenden Augenblick beziehen kann, und jede räumliche Änderung nur auf einen unmittelbar benachbarten Ort. Somit müssen Änderungen als Differenzialquotienten dargestellt werden.

Beginnen wir mit einer Änderung des Raumes. Wie kann sich der Raum in der Beschreibung ändern? Nur, indem sich sein *Längenmaß* oder *Winkelmaß* ändert.[2]

Also definieren wir σ, die ***metrische Dichte der Länge***, wie folgt:

Sei r eine räumliche Koordinate. Dann ist

$$\frac{dr}{\sigma(r)} = dr' \qquad \Leftrightarrow \qquad dr = \sigma(r)\, dr'$$

– wobei r' dieselbe räumliche Koordinate *nach* der metrischen Änderung bezeichnet. σ ist dimensionslos.

Wir setzen also für die erste Änderung: Änderung 1 $= \dfrac{d\sigma}{dr}$

Es ist aber klar, dass *eine* Änderung nicht ausreicht, um eine Beschreibung zu begründen. Da ohne Änderung Nichts wäre, muss aus der ersten Änderung etwas folgen, und diese Folge muss wiederum eine Änderung von AGENS sein, d.h. von Raum oder Zeit.

Unsere erste Änderung war eine Änderung des Raumes. Als zweite Änderung benötigen wir eine andere, von der ersten verschiedene Änderung, also eine Änderung der Zeit.

Daher setzen wir für die zweite Änderung: Änderung 2 $= \dfrac{d\zeta}{d(ct)}$, wo ζ die ***metrische Dichte der Zeitachse*** ct bezeichnet.

Aus Dimensionsgründen, die im Folgenden klar werden, muss hier anstelle von t als Zeitkoordinate ct gewählt werden, wobei c eine Konstante ist, die die Dimension einer Geschwindigkeit hat. ζ ist dimensionslos.

Damit haben wir nun, ausgehend von den Aussagen über AGENS, zwei Änderungen bestimmt, wobei wir angenommen haben, dass die zweite Änderung aus der ersten folgt. Da aber weiterhin

2 Wie sich herausstellt, führen Änderungen des Längenmaßes zur Gravitation, Änderungen des Winkelmaßes zum Elektromagnetismus. Da es hier nur um die Ableitung der Gravitation geht, beschränken wir uns auf Änderungen des Längenmaßes.

gilt, dass ohne Änderung Nichts wäre, sehen wir uns jetzt abermals gezwungen, die Kette der Veränderungen fortzusetzen. Allerdings steht uns als das, was sich ändern kann, nur Raum und Zeit zur Verfügung, und beides haben wir bereits verwendet. Das bedeutet, dass die Kette der Veränderungen, die auseinander folgen, nur dadurch unaufhörlich werden kann, dass aus der zweiten Änderung wiederum die erste folgt.

Wir erhalten somit:

(Änderung 1 ⇒ Änderung 2) *und* (Änderung 2 ⇒ Änderung 1)

Daraus folgt:

Änderung 1 = Änderung 2

Die Gleichung, zu der wir auf diese Weise gelangt sind, lautet also

$$\boxed{\frac{d\sigma}{dr} = \pm \frac{d\zeta}{dct}} \tag{0}$$

In Worten: ***Die räumliche Änderung der metrischen Dichte der Länge ist gleich der zeitlichen Änderung der metrischen Dichte der Zeit.***

Mathematisch gesehen ist das einfach eine Gleichung. Ontologisch gesehen ist es jedoch das, was der Entstehungsvorgang der Wirklichkeit *für uns* ist: *das Gesetz, aus dem die Wirklichkeit gewebt ist*, oder, anders gesagt, *die fundamentale Gleichung*, wobei fundamental bedeutet, dass sich daraus alles ableiten lassen muss, was überhaupt ableitbar ist.

Damit Gleichung (0) als Basis einer physikalischen Beschreibung der Wirklichkeit dienen kann, muss sie in eine *dynamische Gleichung* umgeformt werden – ohne Bewegung gibt es keine Veränderung. Das gelingt am einfachsten dadurch, dass die dimensionslose Größe $\zeta$ als Quotient zweier Geschwindigkeiten aufgefasst wird. *Eine* Geschwindigkeit ist in (0) in Gestalt der Konstanten c schon vorhanden. Also verwenden wir c auch bei der Definition von $\zeta$. Wir setzen:

$$\zeta = \frac{v}{c}$$

c ist die Konstante, v ist die Variable.[3] Gleichung (0) wird dann zu

$$\frac{d\sigma}{dr} = \pm \frac{d\frac{v}{c}}{d(ct)} \tag{0'}$$

bzw.

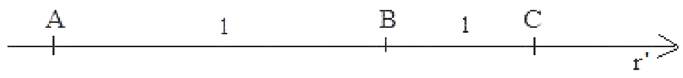
$$\boxed{\frac{d\sigma}{dr} = \pm \frac{1}{c^2}\frac{dv}{dt}} \tag{1}$$

Eine Skizze zur Illustration: Seien A, B und C drei Punkte entlang der Koordinate r. Die Abstände zwischen A und B sowie zwischen B und C seien gleich 1.


(S1)

Hier ist $\sigma$ konstant. Nun ändern wir die Verhältnisse folgendermaßen:

3 Die metrische Dichte der Zeit als v/c anzusetzen, ist auch dadurch motiviert, dass dann die Geschwindigkeit v die gesamte metrische Information enthält, d.h. die Information, wie sich Längen und Zeiten in Abhängigkeit von v ändern. Das führt zur relativistischen Struktur der Wirklichkeit.




(S2)

Die *Abstände* sind gleich 1 geblieben, aber die *Länge des Maßstabs* hat sich zwischen A und B vergrößert, zwischen B und C dagegen verringert. Das bedeutet: die *metrische Dichte* σ ist zwischen B und C größer als zwischen A und B.

A, B und C sind nicht als Punkte *des Raums* aufzufassen, sondern als Begrenzungspunkte von Maßintervallen der Länge 1. Zwischen *Raum* und *Metrik* muss unterschieden werden. (Warum das notwendig ist, wird später klar werden.) Dennoch werde ich im Folgenden gelegentlich die Begriffe "Raum", "metrischer Raum" und "Metrik" synonym gebrauchen.

Was ergibt sich in (S2) für B? Nach (1) entsteht ein Fluss, den ich ***metrischen Fluss*** nenne, d.h. B erfährt eine Beschleunigung, für die – wegen der Möglichkeit des positiven und negativen Vorzeichens in (1) – zunächst noch die Richtung offen ist. Wir lassen uns hier von der Vorstellung leiten, dass B zurück zum Mittelpunkt von AC beschleunigt wird.[4] Das bedeutet, dass in (1) das negative Vorzeichen zu wählen ist, also

$$\boxed{\frac{d\sigma}{dr} = -\frac{1}{c^2}\frac{dv}{dt}} \qquad (1')$$

Zu beachten ist der Unterschied zwischen der metrischen Dichte σ und der "normalen" Dichte ρ: Im Fall von ρ gibt es einen festen Wert $\rho_0$ derart, dass die Größe der Beschleunigung von der Größe der Abweichung von diesem Wert bestimmt wird. Hier existiert also ein *absolutes* Maß, ρ hat ein *Gedächtnis.* Würde σ einer normalen Dichte ρ entsprechen, dann wäre das Ausmaß der Dichteänderung von der Ausgangsdichte abhängig. Um diese Abhängigkeit zu eliminieren, müsste statt (1') gesetzt werden

$$\frac{d\rho}{dr}\frac{1}{\rho} = -\frac{1}{c^2}\frac{dv}{dt}$$

Hingegen kann die metrische Dichte σ keinen solchen Absolutwert besitzen – es wäre unsinnig, einem Kontinuum eine (absolute) Dichte zuzuschreiben. Hier gibt es also kein absolutes Maß, und der Faktor 1/σ entfällt; σ hat *kein Gedächtnis*. Es gibt keine absolute metrische Dichte, nur Dichterelationen.[5]

Damit ist dieser erste Abschnitt abgeschlossen. Das Ziel war, ontologische Schlussfolgerungen in eine mathematische Form zu bringen, die als Basis der Physik geeignet ist. Die Aussage, zu der wir auf diesem Weg gelangt sind, lautet wie folgt:

*Die Wirklichkeit ist ein differenzielles Gewebe aus metrischen Änderungen von Raum und Zeit, die sich gegenseitig bedingen. Alles, was existiert und was sich ereignet – jedes Objekt, jede Wechselwirkung, jeder Prozess – ist ein Muster aus diesen Veränderungen.*

Diese Aussage stützt sich zunächst bloß auf die Analyse des Ursprungs der Wirklichkeit. Im nächsten Abschnitt werden wir einen ersten Schritt zu ihrer Konkretisierung unternehmen.

---

4 Der andere Fall ergibt sich bei Antimaterie. (Siehe mein Buch *Begriff der Wirklichkeit* Seite 244 ff.)

5 Daraus folgt auch, dass es keine absolute Größe gibt, nur Größenrelationen. Das hat weitreichende Konsequenzen für die Beurteilung des Ursprungs des Universums und der Entwicklung seiner Größe.

## 2. Wellen

Die Abhängigkeit von $\sigma$ und v, die durch (1') ausgedrückt wird, hat eine umgekehrte Abhängigkeit zur Folge. In der Skizze (S3) nimmt v in Flussrichtung ab: im Längenelement bei P ist also der Zufluss größer als der Abfluss.


(S3)

Wie aus (S3) hervorgeht, gilt

$$\boxed{\frac{dv}{dr} = -\frac{d\sigma}{dt}} \tag{1a}$$

Zum Vergleich die eindimensionale Kontinuitätsgleichung für ein mitfließendes Längenelement:

$$\frac{dv}{dr} = -\frac{d\rho}{dt}\frac{1}{\rho}$$

Auch hier tritt der Faktor $1/\rho$ wieder deshalb auf, weil die zeitliche Zunahme der Dichte von der Ausgangsdichte abhängt, die sich auf eine absolute Skala bezieht. Im Fall von $\sigma$ gibt es keine absolute Skala, sondern nur relative Änderungen, also entfällt dieser Faktor.

Aus (1') $\left[\frac{d\sigma}{dr} = -\frac{1}{c^2}\frac{dv}{dt}\right]$ und (1a) $\left[\frac{dv}{dr} = -\frac{d\sigma}{dt}\right]$ folgt die Wellengleichung

$$\boxed{\frac{\partial^2 v}{\partial r^2} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 v}{\partial t^2}} \tag{2}$$

– und, aufgrund der Symmetrie von v und $\sigma$ in (1') und (1a), ebenso die Wellengleichung

$$\boxed{\frac{\partial^2 \sigma}{\partial r^2} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \sigma}{\partial t^2}} \tag{3}$$

Aus (2) folgt außerdem wegen $v/c = \zeta$

$$\boxed{\frac{\partial^2 \zeta}{\partial r^2} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2}} \tag{4}$$

Wir erhalten also Wellen in v, deren Geschwindigkeit c ist, und zwei Arten von *metrischen Wellen* – Wellen in $\sigma$, der metrischen Dichte der Länge, sowie Wellen in $\zeta$, der metrischen Dichte der Zeit – ebenfalls mit der Geschwindigkeit c. (Wie ja schon die Bezeichnung anzeigt, wird c später mit der Lichtgeschwindigkeit identifiziert.)

Da Gleichung (1a) für ein *mitfließendes Längenelement* gilt, handelt es sich bei all diesen Wellen um Wellen *im metrischen Fluss.*[6]

6 Wenn $\sigma$ in (1) nicht als metrische Dichte der Länge, sondern als metrische Dichte des Winkels aufgefasst wird, erhält man weitere Wellen: Wellen der metrischen Dichte des Winkels sowie Wellen in w, einer Geschwindigkeit *normal* zur Richtung des Flusses v. (*Begriff der Wirklichkeit* Seite 205 ff.)

Um die fundamentale Bedeutung zu demonstrieren, die diese Wellen für die Entstehung der Wirklichkeit haben, werden wir nun im nächsten Abschnitt eine kurze Analyse der Zeitstruktur der Wirklichkeit durchführen.

## 3. Die Zeitstruktur der Wirklichkeit

Durch Einstein wissen wir, dass die Zeit nicht – wie Newton annahm – "vermöge ihres Wesens überall gleichmäßig fließt", sondern dass die Ergebnisse von Zeitmessungen vom Bewegungszustand des Beobachters abhängen. Einsteins Analysen beruhen auf *Signalen*, mittels derer wir feststellen können, zu welchen Zeitpunkten Ereignisse an entfernten Orten stattfinden.

Ich meine aber, dass diese Art der Analyse nicht tief genug geht. Gegenstand der Analyse sollten nicht *Signale* sein, die der *Ermittlung* von Zeitverhältnissen dienen, sondern *kausale Prozesse,* die Zeitverhältnisse ***verursachen***.

Was ist ein Universum? Eine Menge von Objekten, die durch kausale Prozesse verbunden sind. Gerade *deshalb*, *weil* die Zeit nicht von sich aus überall gleichmäßig fließt, müssen die Zeitverhältnisse erst *erzeugt* werden, und das kann nur mittels der kausalen Prozesse geschehen, durch die die Objekte vernetzt sind. Die Zeitstruktur der Wirklichkeit *entsteht* durch kausale Prozesse.

Sei S irgendein System, das aus mehreren Objekten besteht, S' ein zweites System, das mit S vollkommen identisch ist, sich aber relativ zu S bewegt. (Die Abstände zwischen den Objekten in S' bleiben gleich denen in S – die relativistische Korrektur ist für die nachfolgende Überlegung unerheblich.) Durch die Bewegung von S' ändern sich die Zeitverhältnisse auf die bekannte Weise:

Betrachten wir identische Ereignisse, die in beiden Systemen stattfinden, und zwar gleichzeitig in Bezug auf S: Ein Ereignis, das *vor* dem Objekt A in S – und zugleich vor A' in S' – stattfindet, wird in Bezug auf A' – im Vergleich mit A – in die Vergangenheit versetzt, und ein Ereignis *hinter* A' in die Zukunft, einfach deshalb, weil alle Prozesse, die von vorn kommen, A' in S' *früher* erreichen als A in S, und Prozesse von hinten *später* – eben genau so, wie Einstein die Aufhebung der Gleichzeitigkeit begründet hat. Aber ich betone nochmals: es geht dabei nicht nur darum, dass *wir* diese Zeitverhältnisse *ermitteln*, sondern viel mehr darum, dass *die Wirklichkeit* sie ***erzeugt***.

Aus der Tatsache, dass die Zeitstruktur der Wirklichkeit durch kausale Prozesse erzeugt wird, lässt sich der folgende – überraschende und weitreichende – Schluss ziehen:

Nehmen wir an, die Objekte eines Systems seien durch Prozesse verknüpft, die sich mit der Geschwindigkeit c ausbreiten. Dann erhalten wir eine Zeitstruktur, die vollkommen durch c bestimmt ist – wie das ja auch tatsächlich der Fall ist. Nehmen wir nun außerdem an, es gäbe weitere Prozesse, die sich mit einer anderen Geschwindigkeit d ausbreiten, die von c unabhängig ist. Dann erzeugen diese Prozesse ein zweites, von dem durch c erzeugten *verschiedenes, davon unabhängiges* Zeitsystem. Das ist aber unmöglich. Das Zeitsystem muss eindeutig sein.

Daraus folgt: *Es gibt nur eine einzige Geschwindigkeit*, nämlich c. Alle anderen Geschwindigkeiten müssen daraus abgeleitet sein.

(Die einfachste Form einer solchen Ableitung besteht darin, von Überlagerungen gegenlaufender Wellen auszugehen. Die Geschwindigkeit der Überlagerung hängt dann von den Frequenzen der beiden Wellen ab. Ich habe das in meinem Buch *Begriff der Wirklichkeit* ab Seite 63 durchgeführt und daraus die Spezielle Relativitätstheorie abgeleitet, ohne das Relativitätsprinzip oder die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit für alle gleichförmig bewegten Beobachter vorauszusetzen.)

In diesem Sinn gibt es also nur Lichtgeschwindigkeit. Diese Schlussfolgerung gibt Anlass zu der Vermutung, dass die Wellen mit Lichtgeschwindigkeit – von deren einfachsten linearen Formen wir im Abschnitt 2 aus unserer fundamentalen Gleichung (1') drei Varianten abgeleitet haben – tatsächlich für die Erzeugung der Wirklichkeit notwendig und hinreichend sind.

Ich füge noch eine weitere Überlegung hinzu, die für unsere Argumentation eine Rolle spielt:

Betrachten wir in der Menge aller Objekte des Universums die Teilmenge der elementaren Objekte. Sie sind die eigentlichen Quellen aller physikalischen Wechselwirkungen. "Elementar" bedeutet, dass sie nicht weiter in Objekte und Prozesse zerlegt werden können. Sie sind also "strukturlos". Daraus folgt wiederum, dass sie *ohne Zeit* sind. Was selbst ohne Zeit ist – d.h. ohne Veränderung –, kann aber nicht Ursache einer Veränderung sein, die *in der Zeit* stattfindet.

Das bedeutet: Die kausalen Prozesse, durch die die Objekte verknüpft sind, können nicht bei den elementaren Objekten *beginnen* oder an ihnen *enden*. Sie müssen sich *in den Objekten* fortsetzen.[7]

Daraus folgt:

*Objekte sind Zustände der Raumzeit.*

## 4. Gravitation als Folge der Änderung der metrischen Dichte der Länge

In diesem Abschnitt wird eine neue Sicht der Gravitation vorgestellt, die ich *metrisch-dynamische Gravitation* nenne. Sie beruht auf der Annahme, dass die Änderung von σ, der metrischen Dichte der Länge, als Ursache der Gravitationsbeschleunigung aufgefasst werden kann.

Wir setzen Gleichung (1') voraus:

$$\frac{d\sigma}{dr} = -\frac{1}{c^2}\frac{dv}{dt} \qquad (1')$$

Die Änderung der metrischen Dichte σ bewirkt also eine Beschleunigung des metrischen Flusses v.

Im Folgenden gehen wir von einem dreidimensionalen kartesischen Koordinatensystem K aus. Unser Ziel ist, einen kugelsymmetrischen, stationären Zustand zu modellieren, der dadurch charakterisiert ist, dass die Beschleunigung $\frac{dv}{dt}$ in Richtung auf ein Zentrum weist, mit zunehmender Entfernung von diesem Zentrum abnimmt und im Unendlichen 0 wird.

Das erreichen wir durch folgende metrische Annahme: (m ist ein gegebener Abstand, m > 0)

$$\sigma = \frac{r - m}{r} \qquad (5)$$

– wobei r die Entfernung vom Zentrum O bezeichnet.

Diese Annahme ist durch zwei Überlegungen motiviert: Erstens ist klar, dass *Masse* einer Änderung der metrischen Dichte entsprechen muss, sodass ihre Dimension nur *Länge* sein kann. Zweitens gilt, wie ich weiter unten zeigen werde: wenn r der Abstand eines Punktes P von O *ohne Masse* ist, dann beträgt dieser Abstand nur noch (r – m), wenn sich in O die (geometrische) Masse m befindet.

(5) nach r differenziert ergibt

$$\frac{d\sigma}{dr} = \frac{m}{r^2} \qquad \text{Nach (1')} \quad \frac{d\sigma}{dr} = -\frac{1}{c^2}\frac{dv}{dt} \quad \text{gilt also}$$

$$\boxed{\frac{dv}{dt} = -c^2\frac{m}{r^2}} \qquad (6)$$

7 Das gilt natürlich nicht für Objekte, die als punktförmig angenommen werden.

Wird m in (6) als *geometrische Masse* aufgefasst ( $m = \dfrac{MG}{c^2}$ ), dann ergibt sich

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{MG}{r^2} \tag{7}$$

Diese Beschleunigung entspricht der *Newtonschen Fallbeschleunigung,* die von einer zentralen Masse M verursacht wird.

Wir bestimmen die Größe des Flusses v. Dazu wird zunächst (1') umgeformt:

$$\frac{d\sigma}{dr} = -\frac{1}{c^2}\frac{dv}{dt} \quad \longrightarrow \quad d\sigma = -\frac{1}{c^2}\frac{dr}{dt}\,dv$$

Da wir die fortgesetzte Annäherung ans Zentrum O ermitteln, setzen wir $\dfrac{dr}{dt}$ gleich v.

Es folgt $$d\sigma = -\frac{1}{c^2}\,v\,dv \tag{8}$$

Integration ergibt $\sigma = -\dfrac{1}{c^2}\dfrac{v^2}{2} + C$ Nach (5) $\sigma = \dfrac{r - m}{r}$

gilt somit $1 - \dfrac{m}{r} = -\dfrac{1}{c^2}\dfrac{v^2}{2} + C$

Die Integrationskonstante C ergibt sich aus der Bedingung $v = 0$ für $r \to \infty$ .

Daraus folgt $C = 1$

Wir erhalten $\dfrac{v^2}{2} = c^2\,\dfrac{m}{r}$

und schließlich $$\boxed{v = \pm c\sqrt{\frac{2m}{r}}} \tag{9}$$

(9) entspricht der Newtonschen Gleichung für die Fallgeschwindigkeit (für den Fall aus dem Unendlichen) bei einer geometrischen Masse m ( $m = MG/c^2$ ).

Hier wird v jedoch nicht als *Fallgeschwindigkeit* interpretiert, sondern als *Geschwindigkeit des metrischen Flusses*. Dieser muss die gleiche Richtung haben wie die Beschleunigung in (6). Somit ist in (9) das negative Vorzeichen zu wählen.

Die metrisch-dynamische Gravitation führt also zu denselben Ergebnissen wie die Newtonsche Näherung, falls die Beschleunigung des räumlichen Flusses mit der Newtonschen Gravitations-beschleunigung identifiziert wird.

Die Frage ist: *Ist diese Identifikation zulässig?*

Diese Frage stellt sich deshalb, weil die Newtonsche Beschleunigung auf *Objekte* wirkt, während bei der metrisch-dynamischen Gravitation *der metrische Fluss* beschleunigt wird. Daher ist die Gleichsetzung der in den beiden Theorien auftretenden Beschleunigungen nur dann gerechtfertigt, wenn alles, was existiert, an der Beschleunigung dieses Flusses teilnimmt.

Was wir bisher ermittelt haben, legt nahe, dass das tatsächlich der Fall ist. In Kürze:

Im ersten Abschnitt wurden die Gleichungen (0) und (1) vorgestellt. Die Überlegungen, auf denen ihre spezifische Form beruht, sprechen zugleich dafür, sie als Beschreibung des Prozesses zu interpretieren, aus dem die Wirklichkeit hervorgeht.

Gleichung (0) bedeutet, dass die Wirklichkeit ein Gewebe aus metrischen Änderungen von Raum und Zeit ist. Gleichung (1) besagt, dass eine metrische Veränderung der Länge einen metrischen Fluss verursacht, der proportional zur metrischen Dichte der Zeit ist.

Im zweiten Abschnitt wurden aus diesen Gleichungen mehrere Arten von Wellen mit Lichtgeschwindigkeit abgeleitet, darunter metrische Wellen des Raumes und der Zeit, die alle *im metrischen Fluss* v existieren und somit an dessen Beschleunigung teilnehmen.

Im dritten Abschnitt wurde gezeigt, dass es nur Lichtgeschwindigkeit gibt und dass alle anderen Geschwindigkeiten daraus abgeleitet sind. Dadurch erlangen die zuvor abgeleiteten Wellen einen fundamentalen Status. Zuletzt wurde in demselben Abschnitt dafür argumentiert, dass diese Wellen sich auch ins Innere von Objekten fortsetzen und somit auch für die Entstehung der Objekte und deren Fortbestehen verantwortlich sind.

Alle diese Schlussfolgerungen sind Konkretisierungen und Bestätigungen der Annahme, dass alles, was existiert, der metrisch-dynamischen Beschleunigung unterworfen ist.

Somit gilt die soeben abgeleitete Beschleunigung $\frac{dv}{dt}$ nicht nur für den metrischen Fluss, sondern auch für alle darin befindlichen Objekte, und das heißt, dass sie tatsächlich mit der Newtonschen Gravitationsbeschleunigung identifiziert werden kann.

Unsere bisherige Darstellung der metrisch-dynamischen Gravitation ist aber, ebenso wie die Newtonsche Theorie, nur eine Näherung. Der Grund dafür ist, dass wir bis jetzt weder die metrischen Veränderungen berücksichtigt haben noch die Tatsache, dass – von unserem Koordinatensystem aus gesehen – **die Lichtgeschwindigkeit nicht konstant ist, da ja die Wellen mit Lichtgeschwindigkeit *nicht* in unserem Koordinatensystem, sondern *im metrischen Fluss* laufen** (S. 7 unten).

Bezeichnen wir das System, von dem aus wir das Szenario analysieren, mit S. **S ist *kein Beobachtersystem* – es ist nichtrelativistisch**, wir betrachten die Dinge gewissermaßen "von außen" – aber es ermöglicht uns die korrekte Sicht auf das Geschehen *im System,* wie sich an den folgenden (bekannten) Beispielen zeigt.

### 4.1. Licht fällt ins Zentrum

Das einfachste Ergebnis, zu dem man durch diese Sichtweise gelangt, folgt unmittelbar aus Gleichung (9):

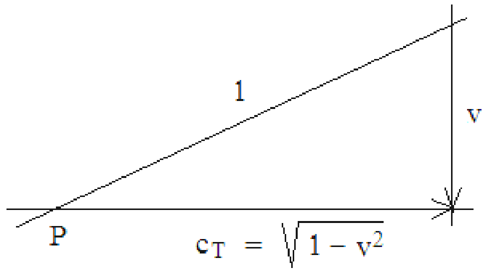
$$v = \pm c\sqrt{\frac{2m}{r}}$$

In $r = 2m$ ist die Geschwindigkeit des Flusses v also gleich der Lichtgeschwindigkeit. Das bedeutet, dass im Abstand 2m vom Mittelpunkt Wellen mit Lichtgeschwindigkeit, die gegen die Flussrichtung laufen, nicht mehr nach außen gelangen, sondern stillstehen.

### 4.2. Geschlossene kreisförmige Bahn des Lichts

In welcher Entfernung vom Gravitationszentrum O beschreibt Licht eine *geschlossene kreisförmige Bahn?*

Zur Bestimmung dieser Entfernung muss die Versetzung der Lichtstrahlen durch den Fluss berücksichtigt werden; die Wellen müssen also – wie ein Schwimmer bei einer Flussüberquerung – gegen den Fluss vorhalten. (Im Folgenden ist c gleich 1 gesetzt.)




(S4)

v ist die Flussgeschwindigkeit. $c_T$ ist die in Bezug auf das Koordinatensystem K durch den Fluss veränderte Tangentialgeschwindigkeit des Lichts in einem Punkt P auf der gesuchten Kreisbahn.

Der Betrag der Flussgeschwindigkeit ist nach (9)

$$|v| = \sqrt{\frac{2m}{r}}$$

Nach (6) existiert ein Beschleunigungsfeld

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{m}{r^2}$$

In einem System *ohne Fluss* ist die Gleichgewichtsbedingung für eine Kreisbahn bei dieser Beschleunigung

$$\omega^2 r^3 = m \qquad (\omega \text{ Kreisfrequenz})$$

Daraus folgt $v_T = \omega r = \sqrt{\frac{m}{r}}$ ($v_T$ Betrag der Tangentialgeschwindigkeit)

Somit ist die Gleichgewichtsbedingung

$$v_T = \sqrt{\frac{m}{r}} = |v|\frac{1}{\sqrt{2}} \qquad (v \text{ Flussgeschwindigkeit})$$

Wir müssen also jenes r finden, wo die *korrigierte* Lichtgeschwindigkeit $c_T$ diesen Wert von $v_T$ annimmt.

Es ist $c_T = \sqrt{1-v^2} = \sqrt{1-\frac{2m}{r}}$

Die Gleichgewichtsbedingung lautet daher unter Berücksichtigung des Flusses v

$$c_T = \sqrt{1-\frac{2m}{r}} = \sqrt{\frac{2m}{r}}\frac{1}{\sqrt{2}}$$

Daraus folgt $1-\frac{2m}{r} = \frac{m}{r}$

und schließlich $r = 3m$

Wir haben also das bekannte Resultat erhalten.

**4.3. Periheldrehung**

Dasselbe Schema kann zur Berechnung der *Periheldrehung* verwendet werden:

Wir gehen wieder von der Gleichgewichtsbedingung für eine Kreisbahn aus

$$v_T = \sqrt{\frac{m}{r}} \qquad (v_T \text{ Betrag der Tangentialgeschwindigkeit})$$

Wie zuvor muss nun wegen des Flusses die Tangentialgeschwindigkeit korrigiert werden. Wenn $v_T$ durch den Fluss um den Faktor

$$k = \sqrt{1-v^2} = \sqrt{1-\frac{2m}{r}}$$

verlangsamt wird,[8] dann ist nun dieses korrigierte $v_T$ in Bezug auf das Beschleunigungsfeld

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{m}{r^2}$$

für eine Kreisbahn zu langsam. Wir müssen also weiter nach innen – d.h. wir suchen jenes r', bei dem $v_T$ um 1/k größer ist, so dass es dort der Kreisbahnbedingung (in hinreichender Näherung) genügt.

Wir setzen also $$\sqrt{\frac{m}{r}}\,\frac{1}{\sqrt{1-\frac{2m}{r}}} = \sqrt{\frac{m}{r'}}$$

Dann ist $$\frac{m}{r} = \frac{m}{r'}\,(1-\frac{2m}{r})$$

Das ergibt $$r' = r - 2m.$$

Die Gleichgewichtsbedingung für die korrigierte Tangentialgeschwindigkeit ist also in $r - 2m$ erfüllt.

Statt $\omega^2 = \frac{m}{r^3}$ ist daher zu setzen $\omega'^2 = \frac{m}{(r-2m)^3}$

$$\omega'^2 = \frac{m}{(r-2m)^3} = \frac{m}{r^3\,(1-\frac{2m}{r})^3}$$

$$\omega'^2 \approx \frac{m}{r^3}\,(1+\frac{2m}{r})^3 = \omega^2\,(1+\frac{2m}{r})^3$$

$$\omega' \approx \omega\,(1+\frac{2m}{r})^{\frac{3}{2}}$$

8 Im Abschnitt 3 haben wir festgestellt: *Es gibt nur Lichtgeschwindigkeit*. Somit muss jede Bewegung als aus Lichtwegen zusammengesetzt gedacht werden. Daher bleibt der Korrekturfaktor immer gleich. Es werden *immer* Lichtwege korrigiert. Jedes v < c, das keine Flussgeschwindigkeit ist, ist ein Interferenzphänomen.

$$\frac{\omega'}{\omega} = (1+\frac{2m}{r})^{\frac{3}{2}} = 1 + \frac{3}{2}\frac{2m}{r} + \frac{3}{8}(\frac{2m}{r})^2 + .... \approx 1 + \frac{3m}{r}$$

Somit beträgt die Voreilung pro Umlauf, d.h. die Periheldrehung $\frac{3m}{r}$, und das ist identisch mit dem Wert, der sich aus der Allgemeinen Relativitätstheorie ergibt.

### 4.4. Der Übergang zur metrischen Sicht

Zunächst bestimmen wir die Länge des radialen Differenzials dr' eines *nichtrelativistischen* Systems S', das sich mit dem metrischen Fluss mitbewegt.

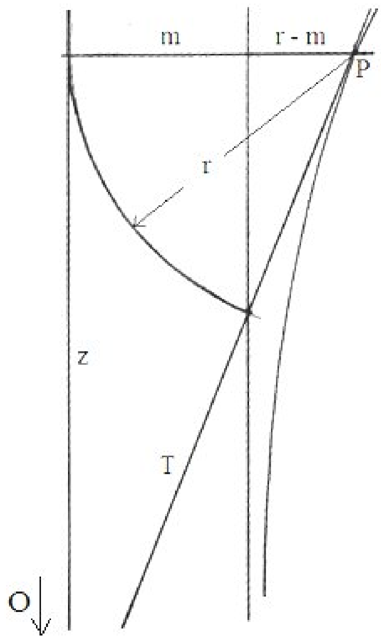
Wir beginnen mit der Definition von σ aus Abschnitt 1 (Seite 4):

$$dr = dr'\,\sigma \qquad \Leftrightarrow \qquad \sigma = \frac{dr}{dr'} \tag{10}$$

Mit (5) $\qquad \sigma = \frac{r - m}{r}$

ist also $\qquad \frac{dr}{dr'} = \frac{r - m}{r} \qquad$ bzw. $\qquad dr' = (1 - \frac{m}{r})^{-1}\, dr \qquad (11)$

Die folgende Skizze illustriert die metrischen Verhältnisse.




(S5)

z ist die Achse der Hilfsdimension. P ist ein Punkt auf der Kurve, die die geänderten radialen Maßverhältnisse darstellt. dr' entspricht dem Längendifferenzial auf der Kurve. T ist die Tangente in P.

Wie der Skizze zu entnehmen ist, gilt $(r - m)/r = dr/dr' = \sigma$.

Wir kennen also in jedem Punkt den Anstieg $\frac{dz}{dr}$. Integration ist allerdings nicht möglich – die Kurve liegt "im Unendlichen". Das ist aber ohne Bedeutung – die Skizze dient nur der Illustration.

Bemerkung: Aus der Skizze (S5) geht auch hervor, dass der Punkt P, dessen Abstand von z *vor* der metrischen Änderung r ist (r ≥ m), bezogen auf das *nachher* in P geltende radiale Längenmaß dr' von z den Abstand (r – m) hat. Das trifft für alle P zu, auch für solche, die beliebig nahe am Schnittpunkt der Kurve mit der r-Achse liegen, und deshalb gilt:

$$r' = r - m$$

Aus dieser Sicht "fehlen" in S' dem Abstand von O m Einheiten. Die metrische Dichte σ gibt also das Verhältnis des Abstands PO *nach* der metrischen Änderung zu dem *vorher* an (gemessen in den im jeweiligen System gültigen Einheiten):

$$\sigma = \frac{r - m}{r} = \frac{r'}{r} \tag{12}$$

**4.5. Die Schwarzschild-Metrik**

Nun vollziehen wir den Übergang auf ein relativ zu O ruhendes Einsteinsches Beobachtersystem $S_E$.

Da die Flussgeschwindigkeit bekannt ist, könnte von einem lokalen mitfließenden relativistischen System $S_F$ auf das System $S_E$ transformiert werden. Dazu wird jedoch die Länge des Differenzials $dr_F$ von $S_F$ benötigt. Wie ermittelt man diese Länge?

Das radiale Differenzial des nichtrelativistischen mitfließenden Systems S' haben wir soeben bestimmt:

Es gilt nach (11)
$$dr' = \left(\frac{r - m}{r}\right)^{-1} dr = \left(\frac{r'}{r}\right)^{-1} dr \tag{13}$$

Der Faktor, durch den dr' festgelegt ist, ist der Quotient des radialen Abstands *ohne* Gravitation ( = r) und *mit* Gravitation ( = r – m).

Also ist jetzt zu fragen: Wie ändert sich dieser Faktor beim Übergang vom nicht-relativistischen Flusssystem S' zum relativistischen Flusssystem $S_F$? Wenn der Abstand eines Punktes P von O in Bezug auf S' gleich r – m ist, wie groß ist dann der Abstand PO in Bezug auf das relativistische Flusssystem $S_F$?

Das lässt sich am einfachsten auf folgende Weise beantworten: Die Geschwindigkeit des Flusses beträgt nach (9)

$$v = -c\sqrt{\frac{2m}{r}}$$

Der Fluss erreicht im Abstand 2m Lichtgeschwindigkeit. Dort wird somit jeder endliche radiale Abstand des Ruhesystems – vom Fluss aus gesehen – zu 0, so dass jeder Punkt, der im unverzerrten Kontinuum von O den Abstand 2m hat, vom mitfließenden, nun relativistisch betrachteten System aus den Abstand 0 hat. Damit verringert sich für jeden Punkt im Abstand r ($r \geq 2m$) der Abstand von O um 2m. Aus relativistischer Sicht fehlen dem Kontinuum also nicht m, sondern 2m Einheiten.[9]

Beim Übergang von S' auf $S_F$ ist daher im Faktor, durch den dr' definiert ist, die Größe m durch 2m zu ersetzen. Dann entspricht dieser Faktor wieder dem Verhältnis des Abstands PO *nach* der metrischen Änderung zu dem *vorher*. Es ergibt sich also:

$$dr_F \;=\; (1 - \frac{2m}{r})^{-1}\, dr \qquad (14)$$

Die Definition von σ muss nun allerdings – nach dem Übergang auf eine relativistische Sichtweise – aufgegeben werden. In einem relativistischen Bezugssystem ist σ keine metrische Dichte.

Nun kann (für jedes r mit $r > 2m$) das radiale Differenzial des lokalen, relativ zu O ruhenden Beobachtersystems $S_E$ bestimmt werden.

Dies geschieht einfach dadurch, dass das Längendifferenzial von $S_F$ mit dem Faktor $k = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ der Lorentztransformation multipliziert wird.

Es gilt $\quad v \;=\; \pm c \sqrt{\frac{2m}{r}}$

Somit ist $\quad k \;=\; \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \;=\; \sqrt{1 - \frac{2m}{r}} \qquad (15)$

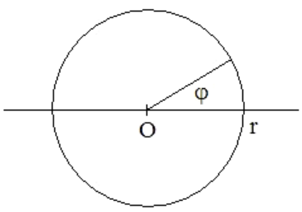
Wir erhalten dann für das radiale Längendifferenzial $dr_E$ von $S_E$

$$dr_E \;=\; dr_F\, k \;=\; dr\,(1 - \frac{2m}{r})^{-1}\,(1 - \frac{2m}{r})^{\frac{1}{2}} \;=\; dr\,(1 - \frac{2m}{r})^{-\frac{1}{2}} \qquad (16)$$

Das Zeitdifferenzial $dt_E$ von $S_E$ lässt sich aus den Berechnungen ermitteln, die wir in diesem Abschnitt durchgeführt haben. Z.B. folgt aus 4.2. *Geschlossene kreisförmige Bahn des Lichts* (siehe Skizze (S4) auf Seite 12), dass für konstante Lichtgeschwindigkeit in $S_E$ das Zeitintervall Δt, das Licht für seinen Weg benötigt, um den Faktor k verkleinert werden muss. Also ist

$$dt_E \;=\; dt\, k \;=\; dt\,(1 - \frac{2m}{r})^{\frac{1}{2}} \qquad (17)$$

Die Gesamtheit der lokalen Systeme $S_E$ ergibt die Schwarzschildmetrik.
Seien r und φ Polarkoordinaten:




(S6)

9 Die Schwarzschildmetrik, die ja unser Ziel ist, kann tatsächlich dadurch charakterisiert werden, dass von jedem lokalen System aus gesehen dem Abstand zum Zentrum 2m Einheiten fehlen.

Dann ist:

$$ds^2 = (1 - \frac{2m}{r})\, dt^2 - (1 - \frac{2m}{r})^{-1}\, dr^2 - r^2\, d\varphi^2 \qquad (18)$$

(18) gilt für eine beliebige Ebene durch O.

($r\, d\varphi$ bleibt gleich. Das normal zu r liegende Differenzial wurde nie verändert.)

#### 4.6. Das universelle metrische Flussfeld

Bisher wurde nur das Szenario mit einer einzigen zentralen Masse diskutiert. Ich werde nun kurz den allgemeinen Fall skizzieren.

Falls das Gravitationsfeld nicht nur von einer Masse verursacht wird, sondern von vielen Massen, die in einer metrischen Struktur (einem Universum) verteilt sind, gilt Folgendes:

Jede geometrische Masse m übt auf ein metrisches Element (ein Differenzial) im Abstand r eine Beschleunigung aus, die exakt $c^2 m/r^2$ beträgt. Im Unterschied zur Newtonschen Theorie breitet sich die gravitative Wirkung mit Lichtgeschwindigkeit aus.

Zur Ermittlung der Flusslinien – der Wege des metrischen Flusses – müssen zunächst die Punkte bestimmt werden, wo die Gesamtbeschleunigung (die Summe der von allen Massen ausgehenden Beschleunigungen) gleich 0 ist. Wenn in einem solchen Punkt die nach außen gerichtete Beschleunigung in jeder (möglichen) Richtung mit dem Abstand zunimmt,[10] dann ist dieser Punkt eine *Quelle* des universellen Flussfeldes.[11]

Diese Quellen sind die Ausgangspunkte der Flusslinien. Eine Teilmenge der Flusslinien endet (möglicherweise) in *Senken,* d.h. in den Singularitäten im Inneren schwarzer Löcher. Eine weitere Teilmenge setzt sich in den elementaren Objekten fort, die den metrischen Fluss verursachen.

Die metrischen Elemente, die sich entlang der Flusslinien bewegen, verhalten sich wie Massenpunkte im Newtonschen Gravitationsfeld: die Flussgeschwindigkeit in einem bestimmten Punkt ist immer das Integral über die Beschleunigung entlang der Flusslinie von der Quelle bis zu diesem Punkt.

Auf Grund von Gleichung (1') [ $\frac{d\sigma}{dr} = -\frac{1}{c^2}\frac{dv}{dt}$ ] und der Definition $\sigma = dr/dr'$ gehört zu jeder Flussgeschwindigkeit v ein bestimmtes, im Fluss gültiges Längendifferenzial dr'(v). Folgendermaßen:

Aus $\quad \sigma = 1 - \frac{m}{r} \quad$ und $\quad \frac{v^2}{c^2} = \frac{2m}{r} \quad$ folgt

$$\frac{v}{c} = \pm\sqrt{2}\,\sqrt{1-\sigma} \qquad (19)$$

10 Diese Zusatzbedingung ist erforderlich, weil es, wie wir später sehen werden, Punkte mit Gesamtbeschleunigung 0 gibt, die *keine* Quellen sind.

11 Die Flussgeschwindigkeit beginnt in diesen Punkten allerdings immer mit dem Wert 0. Es gibt also keinen wirklichen "Zufluss".

($\sigma$ kann alle reellen Werte annehmen, v alle reellen und imaginären Werte. Wenn $\sigma$ gleich 1 ist, dann ist v gleich 0. Ist $\sigma$ kleiner als 1 (bei Materie), dann ist v reell. Ist $\sigma$ größer als 1 (bei Antimaterie, siehe *Begriff der Wirklichkeit* Seite 244 ff), dann ist v imaginär. Bis auf das Vorzeichen von v ist die Zuordnung umkehrbar eindeutig.)

Mit $\quad \sigma = \dfrac{dr}{dr'} \quad$ folgt

$$dr' = dr\,(1 - \frac{v^2}{2c^2})^{-1} \tag{20}$$

Beim Übergang zur relativistischen Darstellung gilt *im Fluss*

$$dr_F = dr\,(1 - \frac{v^2}{c^2})^{-1} \tag{21}$$

und für einen ruhenden Beobachter (der sich relativ zum Fluss mit $-v$ bewegt)

$$dr_B = dr\,(1 - \frac{v^2}{c^2})^{-1/2} \tag{22}$$

Zuvor haben wir das Differenzial des ruhenden Systems mit $dr_E$ bezeichnet, wo E für "Einstein" steht. Diese Bezeichnung ist aber hier nicht mehr angebracht, da im allgemeinen Fall die Metrik, die sich aus dem metrisch-dynamischen Modell ergibt, von der aus der Allgemeinen Relativitätstheorie errechneten abweicht, wie gleich anschließend gezeigt wird.

Für das Zeitdifferenzial $dt_B$ ergibt sich

$$dt_B = dt\,(1 - \frac{v^2}{c^2})^{1/2} \tag{23}$$

Wir haben (19), (21) und (23) aus dem kugelsymmetrischen Fall ermittelt, aber es ist klar, dass (19) bis (23) allgemein gelten, nicht nur im kugelsymmetrischen Fall, da es ja gleichgültig ist, ob die Beschleunigung, die ein metrisches Element erfahren hat, von einer einzigen Masse stammt oder von vielen Massen.

Auf diese Weise kann, wenn die Geschwindigkeit des Flusses bekannt ist, vom lokalen Flusssystem auf ein lokales Beobachtersystem transformiert werden. Wenn in einem Raumbereich Größe und Richtung des metrischen Flusses an jedem Ort gegeben sind, dann lässt sich die Metrik dieses Bereichs aus der Gesamtheit der lokalen Beobachtersysteme ermitteln (wie wir das zuvor im kugelsymmetrischen Fall durchgeführt haben).

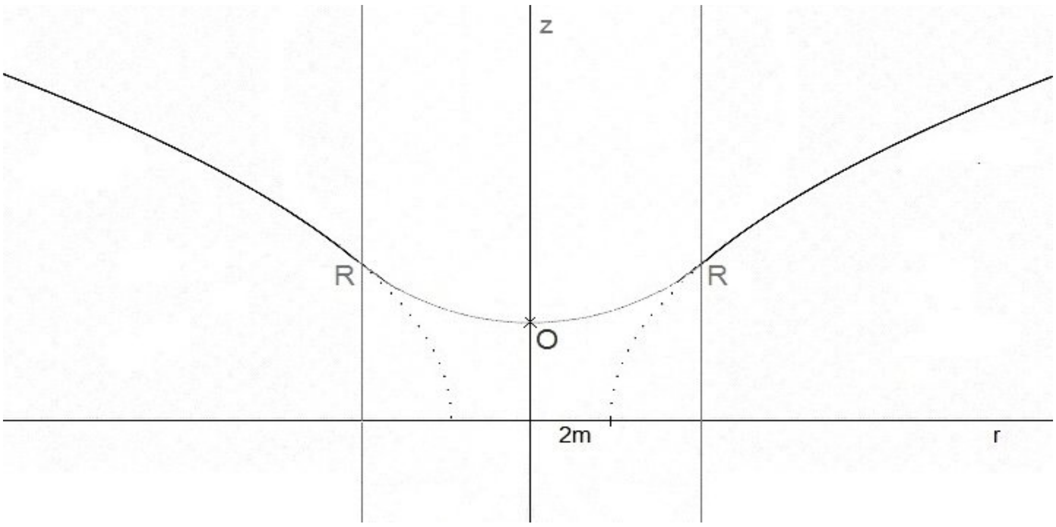
## 5. Unterschiede zwischen Allgemeiner Relativitätstheorie (AR) und metrisch-dynamischer Gravitation (MD)

Eingangs hatten wir festgestellt:

Im kugelsymmetrischen Fall einer einzigen nicht-rotierenden Masse – d.h. im Fall der Schwarzschildlösung der AR – stimmen AR und MD überein.[12] Überraschenderweise besteht diese Übereinstimmung jedoch *ausschließlich* in diesem Fall, und auch hier nur hinsichtlich der Außenraumlösung.

Beginnen wir mit der Innenraumlösung. Sei R der Radius einer (geometrischen) Masse m, die im Koordinatenursprung O ruht. r ist der Abstand von O, z ist die Achse der Hilfsdimension.

Die Skizze (S7) illustriert die metrischen Verhältnisse gemäß der AR:




(S7)

Außerhalb der beiden Punkte R sind die beiden Äste der Schwarzschild-Parabel zu sehen. Zwischen diesen beiden Punkten liegt der Kreisbogen der Innenraumlösung (für konstante Dichte).

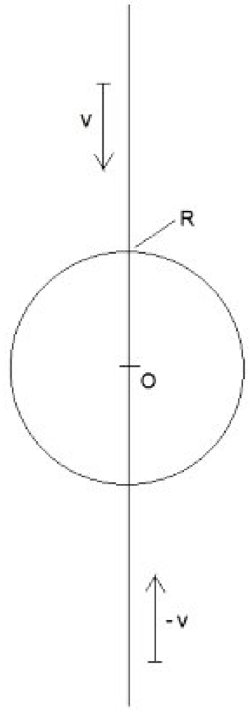
Der Anstieg der Kurve, die die geänderten Maße darstellt, ist in O gleich 0. Das radiale Differenzial $dr_E$ ist in O also gleich dem Längendifferenzial im massefreien Raum.

In R, an der Oberfläche der Masse, ist die Länge des radialen Differenzials $dr_E$ maximal. Mit fortschreitender Annäherung an O nimmt diese Länge ab, bis sie in O den kürzestmöglichen Wert annimmt – den des unverzerrten Raums.

Im Gegensatz dazu verhält es sich in der MD wie folgt.

Wir betrachten zunächst dieselbe Masse m von außen (im normalen Raum)

12 Falls die Masse rotiert, weichen die Resultate beider Theorien voneinander ab, wie wir später bei der Diskussion der Galaxienrotation zeigen werden.




(S8)

Von oben *und* von unten aus dem Unendlichen kommend existiert ein metrischer Fluss v(r). Der Grundannahme der MD entsprechend unterliegt dieser Fluss der Beschleunigung $c^2 m/r^2$. Die Bewegung des metrischen Elements (des Differenzials) ist also identisch mit der Bewegung eines Massenpunktes in der Newtonschen Theorie. Im Außenraum – bis zu R – führt das, wie weiter oben demonstriert, zu einem radialen Differenzial $dr_B$ des lokalen Beobachtersystems, das mit dem aus der AR errechneten Differenzial $dr_E$ übereinstimmt.

Von R bis zu O hin wird der metrische Fluss nun aber weiter beschleunigt, bis er in O seine maximale Geschwindigkeit erreicht. Jenseits von O verringert sich seine Geschwindigkeit, bis sie mit $r \to \infty$ den Wert 0 erreicht.

Wie aus (22) ersichtlich $[\, dr_B = dr\,(1 - \frac{v^2}{c^2})^{-1/2}\,]$, wird aber das radiale Differenzial $dr_B$ mit zunehmender Flussgeschwindigkeit immer länger. Daraus folgt, dass dieses Differenzial in O seine maximale Länge erreicht – im Gegensatz zur AR, wo es in O minimal ist und seine maximale Länge in R annimmt, wie wir soeben festgestellt haben.

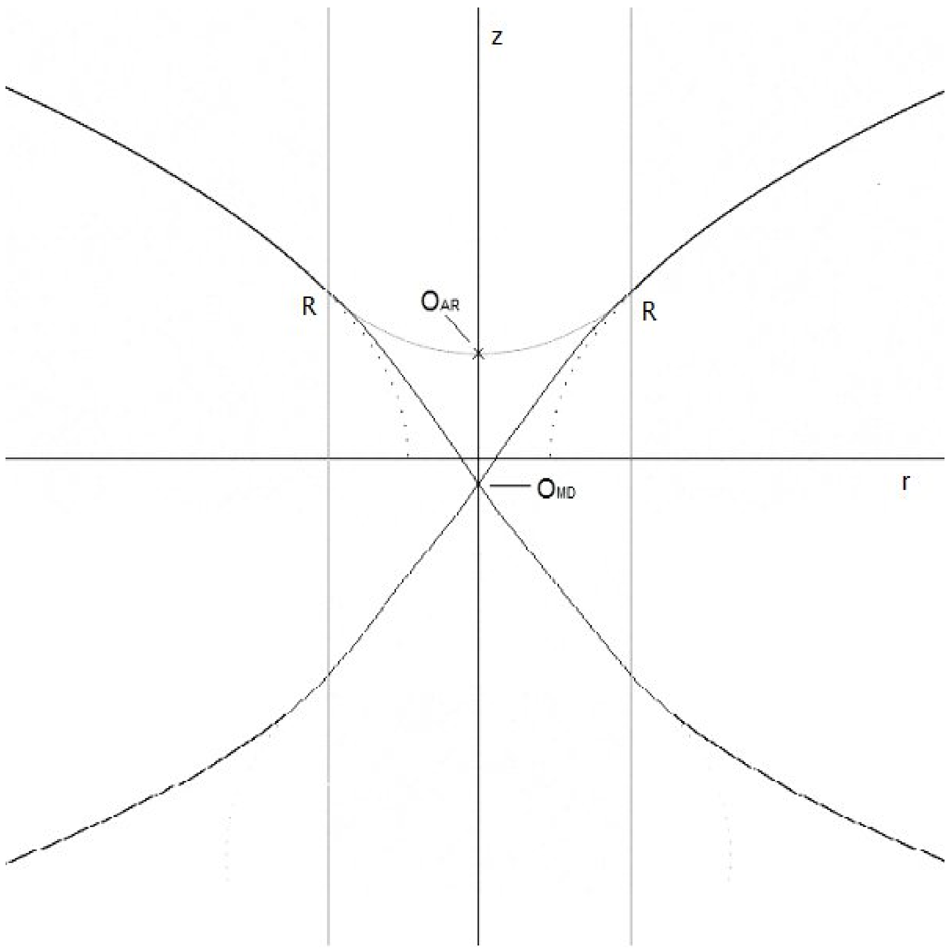
Durch das in (S8) dargestellte Szenario wird auch klar, warum es notwendig ist, zwischen ***Raum*** und ***Metrik*** zu unterscheiden: Entlang der senkrechten Geraden durch O existieren in jedem Punkt ***zwei Flüsse:*** v(r) und –v(r), die gleich groß und einander entgegengesetzt sind.

Wäre v ein *Fluss des Raumes*, dann wäre die Behauptung zweier entgegengesetzter Flüsse im selben Punkt unsinnig. Da es sich aber um einen *Fluss der Metrik* handelt, gibt es kein Problem: die einzige Bedingung ist, dass beide Flüsse in Bezug auf die ***Metrik des lokalen Beobachtersystems*** zu denselben Resultaten führen. Diese Bedingung ist hier offensichtlich erfüllt.[13]

(Es ist wichtig, zu beachten, dass die beiden symmetrischen Fluss-Systeme *nicht-relativistisch* und daher für die übliche Art der Transformation ungeeignet sind.)

Die nächste Skizze zeigt die Gegenüberstellung der radialen metrischen Verhältnisse bei AR und MD:

13 Es gilt aber nicht nur hier, sondern ganz allgemein: Falls sich die Flusslinien in irgendeinem Punkt treffen, dann sind die Beträge der Flussgeschwindigkeiten in jedem Fall identisch, da die metrischen Elemente immer dieselbe Potenzialdifferenz durchquert haben: von der Quelle mit dem Wert 0 bis zum Punkt des Aufeinandertreffens (siehe 4.6. *Das universelle metrische Flussfeld*).




(S9)

Oben die Kurve gemäß der AR wie in (S7). Sie führt durch den Mittelpunkt $O_{AR}$.

Die beiden Kurven, die sich aus der MD ergeben, sind außerhalb der Masse identisch mit der Kurve der AR, d.h. mit der Schwarzschildparabel. Im Innenraum weichen sie jedoch von der Kurve der AR ab: Da der metrische Fluss v bis zum Mittelpunkt $O_{MD}$ zunimmt, wird auch der Anstieg der Kurven größer. Erst jenseits von $O_{MD}$ nimmt der Anstieg wieder ab – das radiale Differenzial $dr_B$ wird kürzer.

Der Unterschied zwischen dem Anstieg der Kurve in $O_{AR}$ – der dort gleich 0 ist – und dem Anstieg der beiden Kurven in $O_{MD}$ macht deutlich, wie stark sich die radialen Differenziale beider Theorien in diesem Punkt voneinander unterscheiden.

Betrachten wir nun das Zeitdifferenzial der Innenraummetrik. Für konstante Dichte existiert eine exakte Lösung der Feldgleichungen der AR: (R Radius der Masse, r Abstand vom Mittelpunkt)

$$dt_E\,(r) \;=\; dt\;\Big[\;\frac{3}{2}\Big(1-\frac{2m}{R}\Big)^{\frac{1}{2}}\;-\;\frac{1}{2}\Big(1-\frac{2m}{R}\frac{r^2}{R^2}\Big)^{\frac{1}{2}}\;\Big] \qquad (24)$$

Wir werden wieder die Werte vergleichen, die sich aus den beiden Theorien für das in O gültige dt ergeben. Zunächst zur AR. Mit r = 0 folgt aus (24):

$$dt_E\,(O) \;=\; dt\;\Big[\;\frac{3}{2}\Big(1-\frac{2m}{R}\Big)^{\frac{1}{2}}\;-\;\frac{1}{2}\Big] \qquad (25)$$

Als Bezugskörper wählen wir diesmal die Erde. Ich habe die Werte für dt näherungsweise berechnet. (2m = 8,8 mm, R = 6370 km)

Nach der AR ergibt sich für das Zeitdifferenzial an der Oberfläche dt(R) und für das Zeitdifferenzial im Mittelpunkt dt(0) Folgendes: (dt ist das Zeitdifferenzial im massefreien Raum)

$$dt(R) = 0{,}99999999931\ dt$$

$$dt(0) = 0{,}99999999896\ dt$$

In der MD gilt für das Zeitdifferenzial nach (23):

$$dt_B = dt\ (1 - \frac{v^2}{c^2})^{\frac{1}{2}}$$

Für v habe ich folgende Werte angenommen:

v an der Erdoberfläche: $v(R) = 11{,}1$ km/s

v im Erdmittelpunkt: $v(0) = 19$ km/s

Es ergibt sich:

$$dt(R) = 0{,}99999999932\ dt$$

$$dt(0) = 0{,}99999999799\ dt$$

Das Zeitdifferenzial dt(R) ist, wie zu erwarten, in beiden Theorien identisch. Im Mittelpunkt unterscheiden sich die beiden Zeitdifferenziale dt(0) in der neunten Dezimale. Deutlicher ist der Unterschied hinsichtlich der Verlangsamung der Zeit auf dem Weg von der Erdoberfläche zum Erdmittelpunkt. Aus der AR ergibt sich

$$dt(R) - dt(0) = 0{,}00000000035\ dt = 35\ 10^{-11}\ dt$$

Hingegen folgt aus der MD

$$dt(R) - dt(0) = 0{,}00000000133\ dt = 133\ 10^{-11}\ dt$$

Die Differenz zwischen dem Zeitvergehen an der Oberfläche und dem Zeitvergehen im Mittelpunkt ist also bei der MD wesentlich größer als bei der AR.

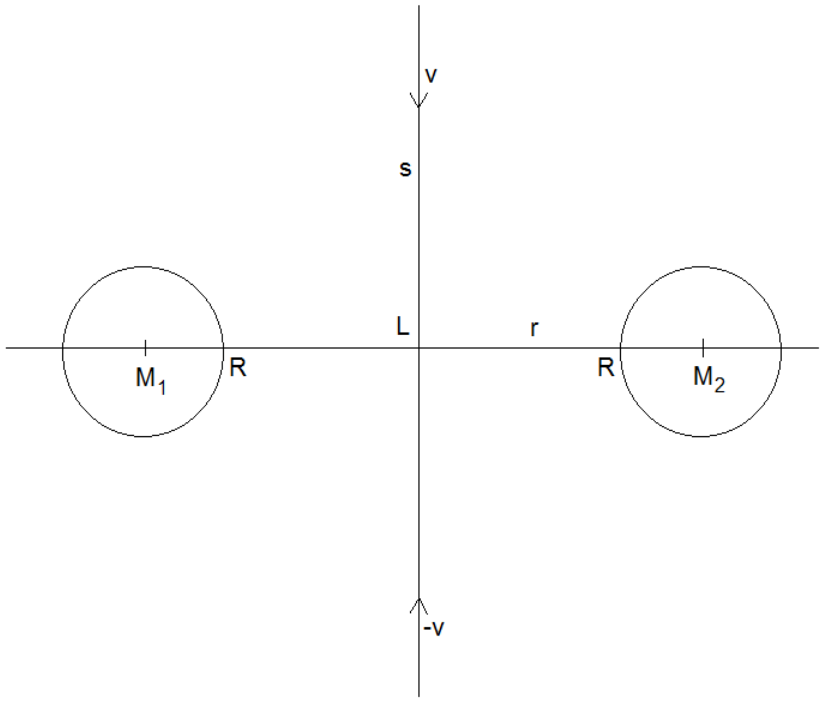
Ich habe diese Werte aus zwei Gründen berechnet: Erstens um eine Vorstellung von ihrer Größenordnung zu vermitteln, und zweitens, weil sich hier der Unterschied zwischen AR und MDG experimentell überprüfen lässt. Natürlich nicht im Erdmittelpunkt, sondern an irgendeinem Ort unter Meeresniveau, wodurch sich der Unterschied noch um einige Dezimalen nach hinten verschiebt. Erste Schätzungen lassen aber vermuten, dass die verbleibende Differenz experimentell erfasst werden kann.[14]

Soviel zum Unterschied zwischen AR und MD in Bezug auf die Innenraumlösung der Schwarzschildmetrik. Wenden wir uns nun den Unterschieden zu, die im Fall mehrerer Massen auftreten.

Wir beginnen mit folgendem Beispiel – dem einfachsten Fall mit nur zwei Massen:

---

14 Das Experiment müsste genau dem Mößbauer-Experiment von Robert Pound und Glen Rebka entsprechen, nur eben unterhalb des Meeresspiegels, da es ja um die Metrik des *Innenraums* der Erde geht.




(S10)

$M_1$ und $M_2$ sind zwei gleich große Massen. Wir betrachten zunächst den metrischen Fluss v entlang der Symmetrieachse s, die durch den Massenmittelpunkt L verläuft.

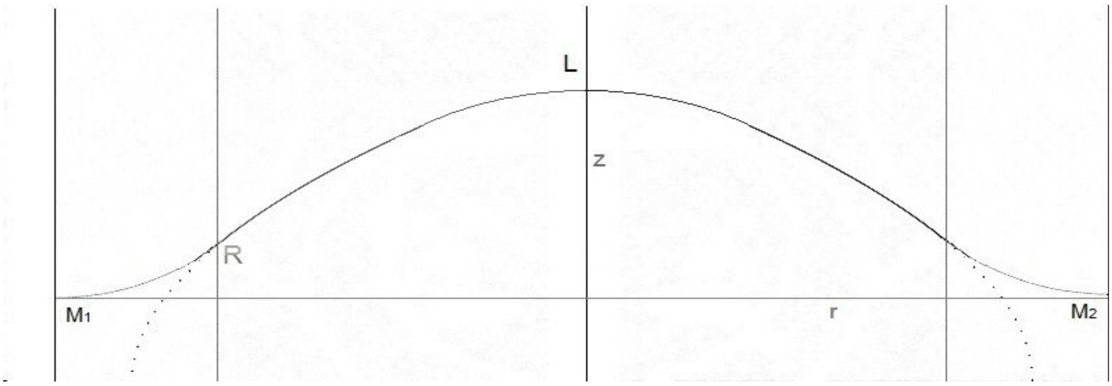
Die Situation ist ähnlich der zuvor diskutierten: Auch hier gibt es einen metrischen Fluss v, der – aus dem Unendlichen kommend – bis zu L beschleunigt wird, dort sein Maximum erreicht und sich danach verringert, bis er im Unendlichen wieder 0 wird, *und* einen entgegengesetzten Fluss –v, für den dasselbe gilt. Der Betrag beider Flüsse ist in jedem Fall identisch, sodass die Berechnung der lokalen Metrik von beiden Flüssen aus immer zum gleichen Ergebnis führt.

Die beiden Flusssysteme entsprechen den frei fallenden Systemen, mit denen Einstein das verallgemeinerte Äquivalenzprinzip demonstriert hat, das besagt, dass nicht nur gleichförmig bewegte Systeme, sondern auch frei im Gravitationsfeld fallende Systeme (lokal) ununterscheidbar sind. In der AR ist dies eines der Prinzipien, auf denen der mathematische Formalismus beruht.

Die MD bietet dagegen eine "direkte" Erklärung für diesen Sachverhalt: Das frei (aus dem Unendlichen mit Anfangsgeschwindigkeit 0) fallende System ruht hier *tatsächlich* im Raum, der es umgibt, weil dieser Raum, als metrischer Raum verstanden, *selbst* mit der gleichen Geschwindigkeit fließt – auf diese Weise ist ja Gravitation in der MD definiert. Einen Körper im Gravitationsfeld am selben Ort zu halten, bedeutet daher, der Beschleunigung des metrischen Flusses entgegen zu wirken. Mit anderen Worten: *Schwere **ist** Trägheit.*

Trotz dieser konzeptionellen Übereinstimmung weichen aber auch im Szenario (S10) AR und MD voneinander ab. In der AR ist das Längendifferenzial ds in L gleich dem des unverzerrten Raums, während es in der MD nach (22) [$dr_B = dr\,(1 - \frac{v^2}{c^2})^{-1/2}$] in L seine maximale Länge erreicht, da hier die Flussgeschwindigkeit v am größten ist.

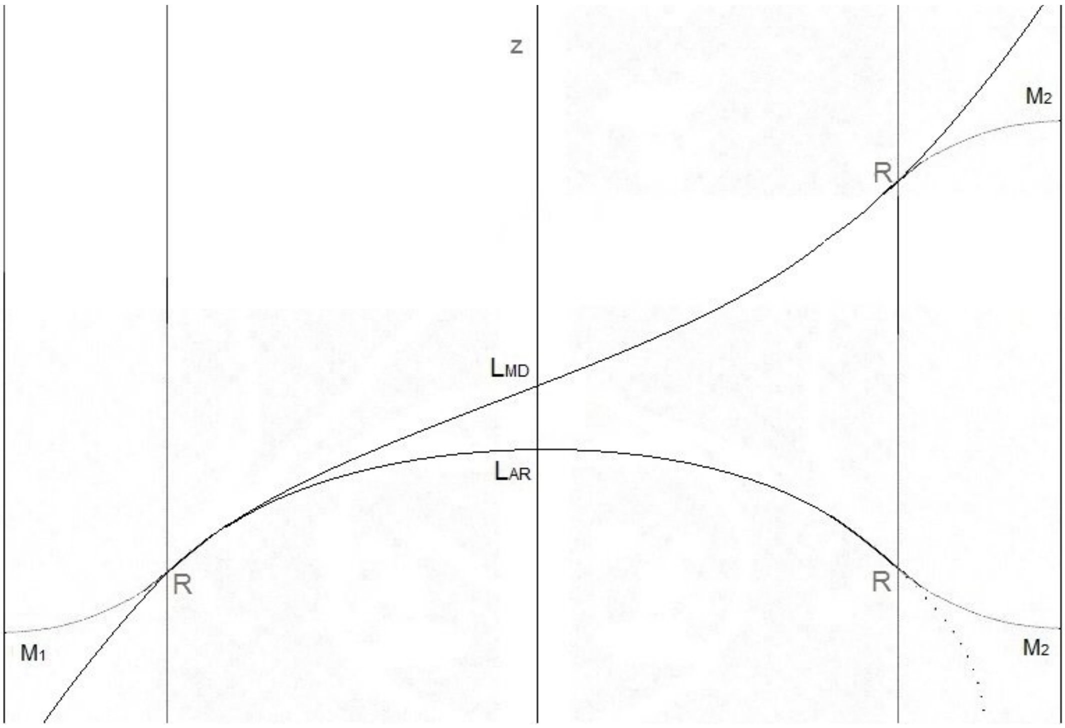
Richten wir nun unsere Aufmerksamkeit auf den metrischen Fluss entlang der Koordinate r. Betrachten wir zunächst die metrischen Verhältnisse gemäß der AR in der Darstellung durch eine Hilfsdimension z:




(S11)

Links beginnend zunächst die Kurve der Innenraummetrik, dann – ab R – die Schwarzschild-parabel. Von rechts kommend eine dazu symmetrische Kurve. Zu L hin müssen sich die Anstiege der beiden Kurven dem Wert 0 annähern, damit in L der Anstieg definiert ist. Somit entspricht also das Differenzial dr in L dem Längendifferenzial des unverzerrten Raums.

Jetzt wieder zur Gegenüberstellung von AR und MD:




(S12)

Links unten beginnend bis zu R hin zeigt die Kurve zunächst die Innenraummetrik der MD, dann entspricht sie in guter Näherung der Schwarzschildparabel. Dann weicht aber die Kurve der MD von der Kurve der AR ab: zwar wird auch hier der Anstieg bis zu $L_{MD}$ kleiner, da die Geschwindigkeit v(r) des metrischen Flusses abnimmt, solange der Abstand von $M_1$ kleiner ist als der von $M_2$, aber der Anstieg wird nicht 0, da v(r) in $L_{MD}$ natürlich nicht verschwindet.

Damit in $L_{MD}$ der Anstieg definiert bleibt, muss man bei der graphischen Veranschaulichung, wie in der Skizze gezeigt, bei Annäherung an $M_2$ auf den unteren Ast der Schwarzschildparabel des Feldes von $M_2$ übergehen.

Schon durch dieses einfache Beispiel wird also klar, dass sich AR und MD im allgemeinen Fall voneinander unterscheiden. Wir werden diese Unterschiede aber nun nicht weiter analysieren, sondern uns direkt der Frage zuwenden, wie sie sich auf die Berechnung der Galaxienrotation auswirken.

Bemerkung:

Bevor wir uns unserem eigentlichen Problem zuwenden, noch eine kurze Anmerkung zur Frage, wodurch die metrisch-dynamische Gravitation eigentlich verursacht wird.

Rein formal haben wir diese Frage schon beantwortet: Ursache ist die Änderung der metrischen Dichte $\sigma$. Falls dies die einzig mögliche Antwort wäre, dann hätte die metrisch-dynamische Gravitationstheorie hinsichtlich der Frage nach dem "Warum" denselben Status wie die Theorien Newtons und Einsteins: Bei Newton bleibt offen, warum Massen sich gegenseitig anziehen, bei Einstein fehlt die Begründung, warum Masse die Raumzeit krümmt. Und da bei beiden Theorien die Masse bloß *per definitionem* mit der jeweiligen Wirkung (Anziehung bzw. Raumzeitkrümmung) verknüpft ist und nicht durch einen logischen Zusammenhang, ist es in beiden Fällen unmöglich, einen Grund für die gravitative Wirkung der Masse anzugeben.

Hingegen existiert bei der metrisch-dynamischen Gravitation ein solcher logischer Zusammenhang: Zunächst ist klar, dass die Zunahme der metrischen Dichte $\sigma$ in einem räumlichen Bereich zu einer Abnahme von $\sigma$ außerhalb dieses Bereichs führt. Daraus folgt, dass ein Objekt deshalb Gravitation ausübt, weil es in dem von ihm eingenommenen Raumbereich eine metrische Verdichtung bewirkt.

Nehmen wir an, das Objekt sei kugelförmig und habe die geometrische Masse m. Dann ist die Kugelfläche, die das Objekt begrenzt, im Vergleich mit dem Zustand ohne die metrische Verdichtung um m Einheiten nach innen gerückt, und daraus folgt, dass sich im Außenraum genau der stationäre Zustand einstellt, den wir zuvor abgeleitet haben. Ein schwarzes Loch ergibt sich, wenn dieses Objekt auf den Radius 0 verdichtet wird – wobei zu beachten ist, dass es sich um eine "metrische Verdichtung" handelt, die nur in Bezug auf das *im System* gültige Längenmaß gilt. Bezogen auf das äußere Maß (wo $\sigma = 1$ gilt) bleibt der Radius des schwarzen Lochs gleich m. (Bei relativistischer Betrachtung wird m zu 2m.)

Fragen wir uns zuletzt, wie eine solche metrische Verdichtung entstehen könnte. Die einfachste Möglichkeit bestünde in der Annahme hinreichend großer Wellenamplituden: sie hätten eine Verringerung der Wellenlänge zur Folge, was bereits gleichbedeutend mit einer metrischen Verdichtung wäre – allerdings nur bei Transversalwellen, sodass der Elektromagnetismus einbezogen werden müsste. Ich glaube allerdings nicht, dass es so einfach sein wird.

Bemerkung:

Die Behauptung einer Zunahme der metrischen Dichte $\sigma$ als Ursache der Gravitation scheint im Widerspruch zu der soeben diskutierten Innenraummetrik zu stehen: Wie in (S9) dargestellt, ist die metrische Dichte im Inneren der Masse nicht größer, sondern kleiner als im Außenraum, und zum Zentrum hin nimmt sie immer weiter ab. Dieser Widerspruch löst sich wie folgt auf:

Wir haben zwar, der Tradition folgend, von einer "Innenraummetrik" gesprochen, aber bezüglich der Objekte, die *tatsächlich* die Gravitation verursachen – also der Atomkerne – befinden wir uns natürlich nach wie vor *im Außenraum.* Die eigentliche Verdichtung kann aber nur im Innenraum derjenigen Objekte stattfinden, von denen die gravitative Wirkung ausgeht. (Es kann hilfreich sein, sich das frei aus dem Unendlichen fallende System auf seinem Weg durch das Erdinnere in einem Gravitationstunnel vorzustellen, d.h. in einem zylindrischen Schacht durch den Erdmittelpunkt.)

In der MD sind die Bezeichnungen "konstante Dichte" und "Innenraummetrik" also irreführend.

## 6. Die Rotationsgeschwindigkeit von Galaxien

Zunächst eine ganz kurze Zusammenfassung des Sachverhalts:

Im inneren Bereich von Galaxien stimmen die beobachteten Geschwindigkeiten der Sterne mit den nach Newton oder Einstein zu erwartenden überein. Im äußeren Bereich nehmen die Geschwindigkeiten aber nicht wie in Sonnensystemen ab, sondern bleiben annähernd gleich.

Dafür gibt es nur zwei mögliche Erklärungen: a) Es gibt unsichtbare Massen, b) Unsere Gravitationstheorien sind falsch.

Zu a)): Seit mehr als 40 Jahren wird versucht herauszufinden, was diese "dunkle Materie" sein könnte. Das Standardmodell der Teilchenphysik wurde auf mögliche Kandidaten untersucht – ohne hinreichenden Erfolg. Auch das überreiche Angebot an spekulativen Teilchen der Supersymmetrie hat im Large Hadron Collider und anderswo zu keinen Ergebnissen geführt. Für die Modelle und Simulationen, die auf dunkler Materie beruhen, ist das natürlich von Vorteil: Es kann weiterhin völlig frei über alle Parameter verfügt werden. Aber eigentlich ist die Lage wohl eher deprimierend.

Zu b)): Da die Rotationsgeschwindigkeit, wie gesagt, bis zu einer gewissen Entfernung vom Zentrum mit Newtons Theorie bzw. mit der AR übereinstimmt und erst weiter außen davon abweicht, bietet sich die Möglichkeit, Newtons und Einsteins Gesetz so zu modifizieren, dass sich diese Modifikation erst in größerem Abstand signifikant auswirkt. In Newtons Gleichung fällt die Kraft dann mit dem Abstand nicht mehr quadratisch, sondern nur noch linear ab, und in Einsteins Gleichung wird derselbe Effekt durch mehrere Tensoren erreicht – dabei nützt man die mathematische Freiheit, die schon Einstein das Hinzufügen seiner "kosmologischen Konstante" ermöglicht hat. Nun ist es zwar legitim, ein Gesetz mit minimalem Aufwand so an die Beobachtungen anzupassen, dass es mit ihnen übereinstimmt, aber es ist doch eine Ad-hoc-Aktion, die so lange fragwürdig bleibt, bis sie durch allgemeine Prinzipien begründet werden kann.[15]

Die wichtigsten Szenarien im Universum sind diese beiden: Sonnensysteme und Galaxien. Die Theorien, mit denen wir sie beschreiben, sind in Sonnensystemen gültig, aber in Galaxien sind sie nicht einmal Näherungen, sondern einfach grob falsch – es sei denn, wir nehmen an, es existiere dunkle Materie. Wie es scheint, stehen wir vor einer unattraktiven Alternative; gewissermaßen befinden wir uns in einer lose-lose-Situation – allerdings nur solange wir das Problem nach unserem bisherigen Verständnis von Gravitation beurteilen: aus Sicht der MD stellt sich die Lage nämlich ganz anders dar. Hier erscheint es schon auf Basis einiger einfacher Überlegungen zwingend, dass eine wesentlich größere Rotationsgeschwindigkeit zu erwarten ist als nach Newtons oder Einsteins Theorie.

Ich werde die Argumentation in zwei Schritten durchführen:

Zunächst werde ich zeigen, dass aus den Annahmen, auf denen die MD beruht, geschlossen werden muss, dass bei Galaxien *der Raum bzw. die Metrik selbst rotiert*, und danach werde ich dafür argumentieren, dass diese Rotation des Raumes zu der nach Newtons oder Einsteins Theorie berechneten Rotationsgeschwindigkeit der Sterne addiert werden muss.

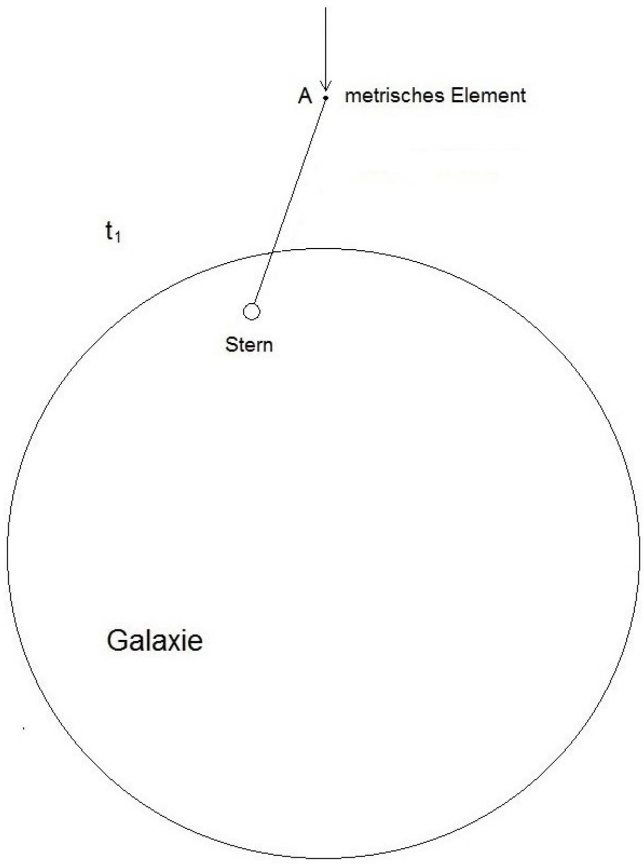
Wir betrachten eine Galaxie von einem Punkt auf der Rotationsachse.

(S13): Zum Zeitpunkt $t_1$ befindet sich im Punkt A ein metrisches Element, das – aus dem Unendlichen frei fallend – in der Rotationsebene auf die Galaxie hin beschleunigt wird. (Die endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit der Gravitation spielt beim folgenden Gedankengang keine Rolle. Wir können sie also außer Acht lassen.) Abgebildet ist außerdem einer der Sterne der Galaxie.

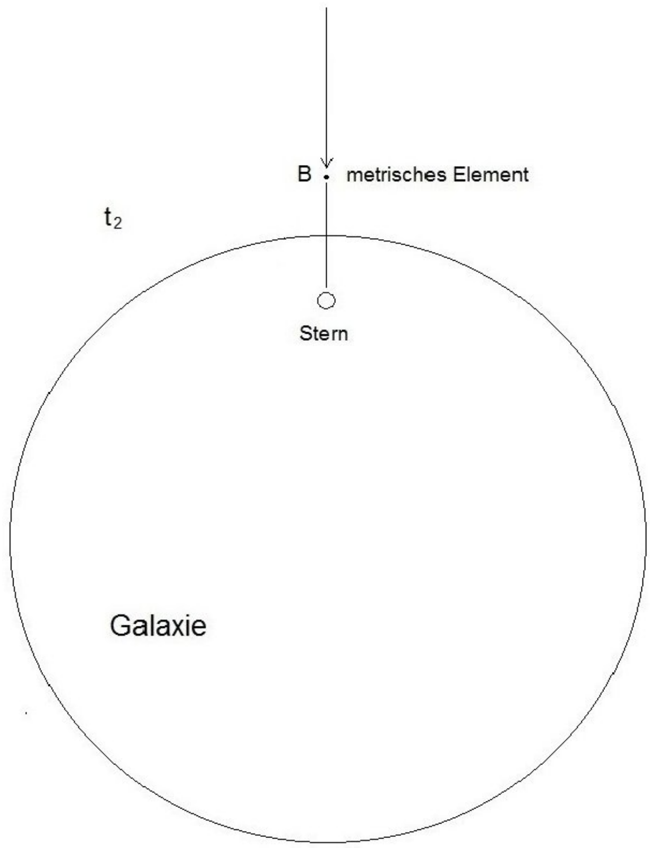
(S14): Zum Zeitpunkt $t_2$ ist das metrische Element nach B gelangt. Der Stern befindet sich nun genau auf der Geraden durch B und das galaktische Zentrum.

(S15): Zum Zeitpunkt $t_3$ hat sich das metrische Element nach C weiterbewegt. ($t_2 - t_1 = t_3 - t_2$)

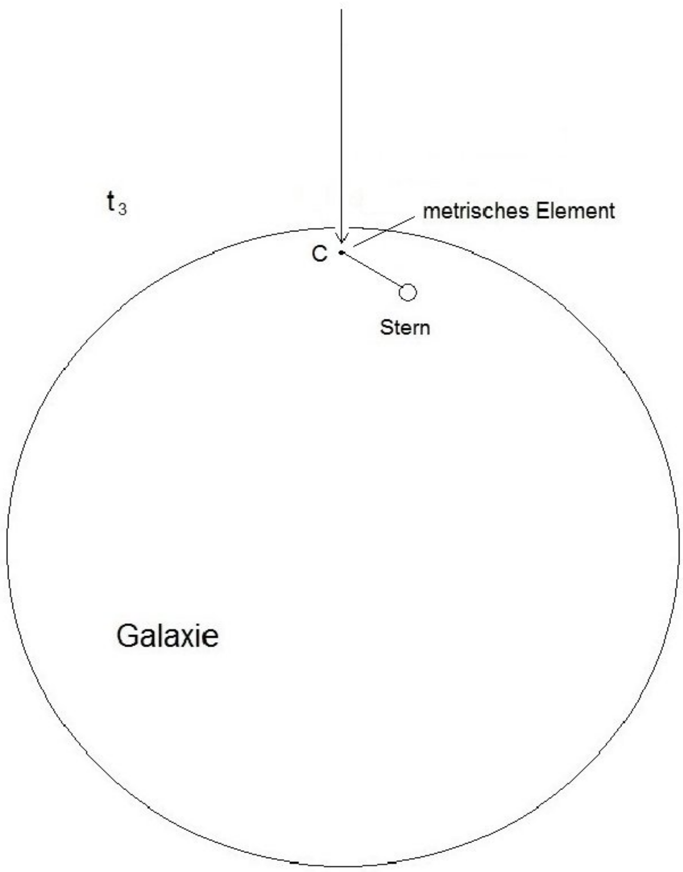
15 Der Faktor der Beschleunigung in Newtons modifizierter Gleichung muss allerdings nicht für jede Galaxie eigens bestimmt werden, sondern gilt anscheinend allgemein (von wenigen Ausnahmen abgesehen). Er hat also den Charakter einer Naturkonstanten. Das ist zwar keine Bestätigung dafür, dass *dieses* Gesetz richtig ist, aber es ist doch ein starkes Indiz dafür, dass ein Gesetz *existiert,* wodurch die Wahrscheinlichkeit der Alternativhypothese – der Existenz dunkler Materie – abnimmt.


A
metrisches Element
$t_1$
Stern
Galaxie

(S13)

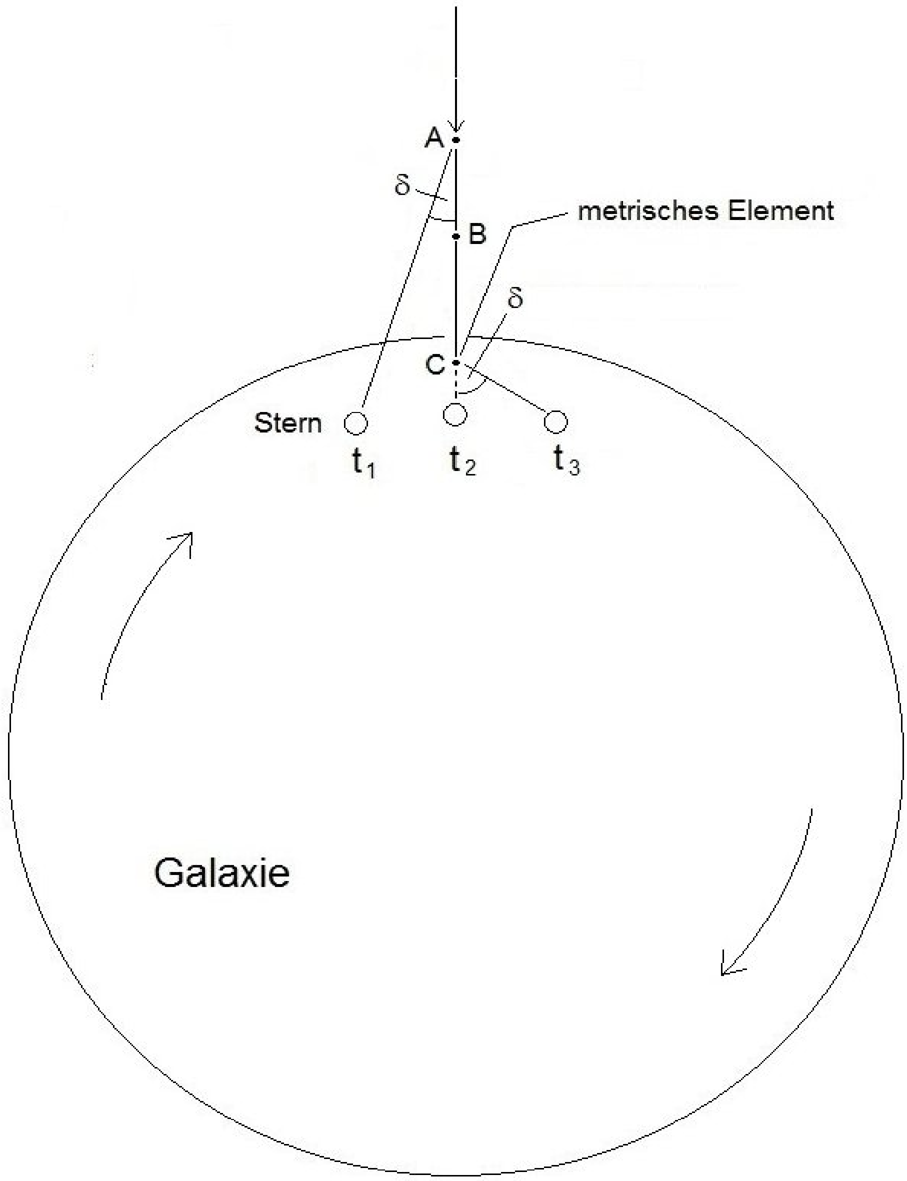

B
metrisches Element
$t_2$
Stern
Galaxie

(S14)


$t_3$
metrisches Element
C
Stern
Galaxie

(S15)

(S16) zeigt die Situation zu allen drei Zeitpunkten:




(S16)

Von oben aus dem Unendlichen kommend existiert ein metrischer Fluss v(r), wobei r die Entfernung vom Zentrum bezeichnet. In der Skizze wird dieser Fluss durch die Bewegung des metrischen Elements E dargestellt.

Sei m die geometrische Masse des Sterns S, d sei die (zeitabhängige) Distanz zwischen S und E. Dann übt S, der Grundannahme der MD entsprechend, auf E eine Beschleunigung $c^2 m/d^2$ aus. Die Bewegung des metrischen Elements E ist also identisch mit der Bewegung eines Massenpunktes in der Newtonschen Theorie (abgesehen davon, dass sich in der MD die Gravitation mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet).

Wir zerlegen diese Beschleunigung b in eine radiale Komponente $b_r$ und eine tangentiale Komponente $b_t$. Es gilt

$$b_r = c^2 m/d^2 \cos\delta$$

$$b_t = c^2 m/d^2 \sin\delta$$

Wie aus der Skizze (S16) ersichtlich folgt daraus, dass E zwischen $t_1$ und $t_2$ eine tangentiale Beschleunigung nach links (entgegen der Richtung der Rotation) erfährt, und zwischen $t_2$ und $t_3$ nach rechts (in Richtung der Rotation).

Der zentrale Punkt unserer Argumentation ist, dass der Betrag von $b_t$ zu jedem Zeitpunkt zwischen $t_2$ und $t_3$ wesentlich größer ist als zwischen $t_1$ und $t_2$, sodass die Geschwindigkeit von E – also die Geschwindigkeit des metrischen Flusses – im Punkt C eine nach rechts gerichtete tangentiale Komponente hat.

Das hat zwei Gründe:

1.) Die Entfernung d zwischen S und E ist im Zeitintervall zwischen $t_1$ und $t_2$ größer als zwischen $t_2$ und $t_3$ – in unserem Fall im Schnitt ungefähr doppelt so groß.

(Da der Stern S in der Galaxie weit außen liegt, ist die Geschwindigkeit, mit der er rotiert, annähernd gleich $c\sqrt{\frac{m_G}{r}}$ ($m_G$ ist die geometrische Masse der Galaxie). Der Betrag der Geschwindigkeit von E ist gleich dem Betrag der Fluchtgeschwindigkeit, d.h. er ist gleich $c\sqrt{\frac{2m_G}{r}}$.
Allerdings befindet sich E weiter außen. Insgesamt ergibt sich, dass E zwischen $t_1$ und $t_3$ ungefähr dieselbe Strecke zurücklegt wie S.)

Somit ist die Beschleunigung, die E durch S erfährt, zu jedem Zeitpunkt zwischen $t_2$ und $t_3$ im Mittel viermal so groß wie zwischen $t_1$ und $t_2$.

2.) Außerdem ist der Winkel $\delta$, von dem die Komponente $b_t$ abhängt, zwischen B und C deutlich größer als zwischen A und B – insbesondere dann, wenn man die anfängliche Versetzung von E nach links berücksichtigt. Daraus folgt, dass bezüglich $b_t$, der tangentialen Komponente der Beschleunigung, zusätzlich zum Faktor 4 der Gesamtbeschleunigung noch eine weitere Steigerung eintritt.

Insgesamt ergibt sich also, wie oben behauptet:

***Die durch S auf E ausgeübte Beschleunigung hat zur Folge, dass die Geschwindigkeit von E im Punkt C eine nicht vernachlässigbare tangentiale Komponente in Rotationsrichtung hat.***

Dieses Resultat lässt sich wie folgt verallgemeinern:

Die Argumentation, die wir soeben für den Stern S durchgeführt haben, gilt für jeden Stern, der die Verbindungsgerade zwischen E und dem Zentrum der Galaxie überquert und zum Zeitpunkt der Überquerung näher am Zentrum ist als E.

Für Sterne, die zum Zeitpunkt der Überquerung vom Zentrum weiter entfernt sind als E, kehrt sich die obige Argumentation allerdings um, da dann E im Zeitintervall vor der Überquerung dem Stern näher ist als im Zeitintervall nach der Überquerung, sodass E insgesamt stärker *gegen* die Rotationsrichtung beschleunigt wird als *mit* ihr. Daraus folgt, dass die tangentiale Komponente der Geschwindigkeit von E umso kleiner wird, je weiter E in die Galaxie eindringt. Da die durchschnittliche Sterndichte jedoch nach innen zunimmt, ist zu erwarten, dass die Raumrotation in einem weiten Bereich erhalten bleibt und erst in der Nähe des Zentrums verschwindet.

Sterne, die sich in größerer Entfernung von dieser Verbindungsgeraden befinden, müssen nicht berücksichtigt werden, da sie sich wegmitteln. (Für jeden Stern, der sich auf der linken Seite der Verbindungsgeraden befindet, gibt es einen Stern auf der rechten Seite, sodass die tangentiale Komponente der Beschleunigung von E im Mittel verschwindet.)

Damit sind wir zu folgender Aussage über den metrischen Fluss gelangt:

***Falls eine Galaxie rotiert, dann rotiert auch der metrische Fluss, d.h. seine Geschwindigkeit hat eine tangentiale Komponente in Rotationsrichtung. Diese "Rotation des Raumes" nimmt bei***

***Annäherung an die Galaxie zu. Sie erreicht ihr Maximum am äußeren Rand. Zum Zentrum hin nimmt sie ab.***

Soweit der erste Schritt unserer Argumentation. Jetzt zum zweiten Schritt, zu der Frage:

*Wie wirkt sich die Rotation des Raumes auf die Rotationsgeschwindigkeit der Sterne aus?*

Beurteilen wir zunächst die Auswirkung im Hinblick auf Newtons Theorie. Da hier der Raum bloß die Bühne darstellt, auf der sich das physikalische Geschehen ereignet, erscheint es zunächst seltsam, von einer "Bewegung des Raumes" zu reden. Andererseits ist es aber selbstverständlich, dass man sich bei der Ermittlung der Rotationsgeschwindigkeit auf einen "ruhenden Raum" beziehen muss – es ist ja notwendig, dass ein System existiert, in dem die Geschwindigkeit 0 ist, und das ist natürlich in demjenigen System der Fall, das relativ zum Zentrum der Galaxie ruht.

In der MD ist jedoch – bezogen auf die Rotation – dasjenige System als "ruhendes System" aufzufassen, das sich mit der tangentialen Komponente der Geschwindigkeit des metrischen Flusses bewegt. Für die Berechnung der Sterngeschwindigkeit ist dies das System mit der Geschwindigkeit 0. Somit bezieht sich die nach Newton errechnete Rotationsgeschwindigkeit auf dieses System. Das bedeutet:

***Die Geschwindigkeit, mit der der Raum im Abstand r rotiert, muss zur Geschwindigkeit, mit der sich ein Stern im selben Abstand bewegt, addiert werden.***

Was soeben über die Auswirkungen der Raumrotation für die Berechnung der Rotationsgeschwindigkeit nach Newton gesagt wurde, bleibt auch in Bezug auf die AR gültig. Für die Beurteilung, wie sich die Rotation des Raums auf die Berechnung der Geschwindigkeit der Sterne auswirkt, ist folgender Sachverhalt entscheidend:

Die Weltlinien der um das Zentrum der Galaxie rotierenden Sterne sind zeitartige Geodäten. Der durch die Eigenzeit gemessene Abstand zwischen zwei Punkten ihrer Bahn nimmt also einen Extremwert an. Das Zeitdifferenzial auf dieser Bahn hängt von zwei Faktoren ab: von der Feldstärke und von der Geschwindigkeit des Sterns. Diese Geschwindigkeit muss sich aber – wie bei Newton – auf ein ruhendes System beziehen, wobei "ruhend" hier nur die Bedeutung haben kann: ruhend "relativ zum nicht-rotierenden Raum". In einem solchen System wird das Zeitvergehen maximal.

In der MD hingegen vergeht die Zeit am schnellsten in einem System, das "relativ zum rotierenden Raum" ruht, und daraus folgt, dass die Berechnung nach der AR sich auf *diesen Raum,* d.h. auf den rotierenden Raum beziehen muss. Somit ist, ebenso wie bei Newton, auch in der AR die Geschwindigkeit der Raumrotation zur errechneten Geschwindigkeit der Sterne zu addieren.

Auch wenn die obige Argumentation nur qualitativ ist und bestenfalls eine grobe Abschätzung erlaubt, so kann doch aus ihr geschlossen werden, das nach der MD eine größere Rotationsgeschwindigkeit von Galaxien zu erwarten ist als nach Newtons oder Einsteins Theorie. Außerdem enthält sie auch einen Hinweis darauf, dass die MD denselben Effekt hat wie die bei Newtons und Einsteins Theorie *ad hoc* eingefügten Terme: Die Veränderungen betreffen hauptsächlich die Außenbereiche von Galaxien, während die inneren Bereiche nahezu unverändert bleiben.

Beim Versuch der Berechnung der Rotationsgeschwindigkeit des Raums sieht man sich mit folgender Schwierigkeit konfrontiert:

Die Geschwindigkeit der Sterne und die Geschwindigkeit der Raumrotation beeinflussen sich gegenseitig. Es entsteht eine Rückkopplungsschleife: je schneller sich die Sterne bewegen, desto schneller rotiert der Raum, und umgekehrt gilt dasselbe. Diese wechselseitige Beschleunigung erfolgt so lange, bis sich ein Gleichgewicht einstellt – ein Prozess, der sich während der Entwicklung der Galaxie vollzieht.

Es gibt aber einen relativ einfachen Weg, mit dieser Schwierigkeit umzugehen: Man beginnt nicht mit der Berechnung der Raumrotation, sondern mit der Beobachtung der Sterngeschwindigkeiten sowie der Abschätzung der Gesamtmasse der Galaxie. (Ohne dunkle Materie.) Die Differenz zwischen den beobachteten Geschwindigkeiten und den – nach Newton oder Einstein – aus der Galaxienmasse errechneten Geschwindigkeiten ergibt dann die Geschwindigkeit der Raumrotation.

Auf diese Weise lässt sich überprüfen, ob diese Differenz durch die MD erklärt wird: Wenn die Geschwindigkeiten der Sterne bekannt sind, kann die Rotation der Metrik berechnet oder durch eine Simulation ermittelt und mit dieser Differenz verglichen werden.

Bemerkung:

Da es sich bei Galaxien um Systeme handelt, deren Gesamtmasse sich auf zahlreiche Objekte verteilt, müssen sich die Ergebnisse aus Abschnitt 5 (über Innenraummetrik und Systeme mit mehreren Massen) in einem gewissen Maß auf Galaxien übertragen lassen. Das bedeutet, dass auch innerhalb von Galaxien das aus der MD ermittelte radiale Differenzial größer ist als das aus der AR errechnete, und das Zeitdifferenzial kleiner. Da diese Unterschiede aber im äußeren Bereich einer Galaxie verschwindend gering sind und erst mit zunehmender Annäherung ans Zentrum allmählich zunehmen, und weil die Rotationsgeschwindigkeit ja erst in größerem Abstand vom Zentrum zu groß ist, können sie bei der näherungsweisen Bestimmung der Galaxienrotation vernachlässigt werden.

### 6.1. Andere Effekte

Außer der Galaxienrotation gibt es noch andere Effekte – z.B. den Gravitationslinseneffekt –, die aus Sicht von Newtons oder Einsteins Gravitationstheorie auf eine stärkere Gravitation hinweisen, als aufgrund der sichtbaren Materie zu erwarten wäre. Diese Effekte lassen sich durch die MD auf folgende Weise erklären:

In der AR wird das Zeitvergehen durch das Gravitationsfeld verlangsamt: je stärker die Retardation der Zeit, desto stärker die Gravitation. In der MD verlangsamt sich die Zeit aufgrund des metrischen Flusses: je größer der Fluss, desto stärker die Retardation der Zeit.

Wenn der metrische Fluss genau auf die gravitierende Masse hin gerichtet ist – wie im kugelsymmetrischen Fall einer einzigen Masse – dann stimmen die aus der AR ermittelten Zeiten der lokalen Systeme mit den aus der MD errechneten im Außenraum überein. In allen anderen Fällen weichen AR und MD voneinander ab, wie wir im Abschnitt 5 gezeigt haben.

Die Überlegungen zur Galaxienrotation haben uns zu dem Schluss geführt, dass in Galaxien die Geschwindigkeit des metrischen Flusses eine tangentiale Komponente hat. Während sich aus der radialen, zum Massenmittelpunkt hin gerichteten Komponente ein Zeitdifferenzial ergibt, das mit dem der AR zumindest im äußeren Bereich der Galaxie weitgehend übereinstimmt, folgt aus der tangentialen Komponente – d.h. aus der Raumrotation – eine zusätzliche Retardation der Zeit.

Da diese Rotation des Raums in der AR nicht existiert, muss die daraus folgende Zeit-Retardation aus Sicht der AR als Auswirkung eines stärkeren Gravitationsfeldes aufgefasst werden, mit anderen Worten: als *zusätzliche* Gravitation, die die Annahme der Existenz zusätzlicher (unsichtbarer) Materie erzwingt.

Aus Sicht der MD bleibt das Prinzip, dass sich Objekte im Gravitationsfeld auf zeitartigen Geodäten bewegen, weiterhin gültig, aber für die Berechnung ihrer Bahnen müssen die gegenüber der AR veränderten Zeitdifferenziale zugrunde gelegt werden. Der gravitative Effekt bleibt also gleich, er wird nur anders interpretiert: Was in der AR nur als Folge zusätzlicher, unsichtbarer Masse verstanden werden kann, erscheint in der MD als Folge der Rotationsgeschwindigkeit des metrischen Flusses. Die Annahme unsichtbarer Masse erübrigt sich.

Notiz:

Grundsätzlich gilt die Argumentation zur Galaxienrotation in jedem Fall, in dem Massen um den Massenmittelpunkt rotieren, also auch im Fall von Planeten mit Eigenrotation. Vor kurzem bin ich zufällig auf die Formel gestoßen, mit der J. D. Anderson und Andere die sogenannte *Flyby Anomaly* beschreiben. In dieser Formel wird die sehr kleine, bis jetzt nur unzureichend begründbare Geschwindigkeitszunahme, die Raumsonden beim Fly-by an der Erde erfahren, mit der Erdrotation in Verbindung gebracht.

Andersons Formel ist heuristisch, d.h. sie stellt einen Versuch dar, auf möglichst einfache Weise ein Gesetz zu konstruieren, das den vorhandenen Daten entspricht. Vielleicht kann die MD dazu die Erklärung liefern. Ich habe das aber nicht weiter untersucht.

## 7. Zusammenfassung

Bei den Gravitationstheorien Newtons und Einsteins gibt es drei physikalische Grundbegriffe: Raum, Zeit und (in Kilogramm bzw. Joule gemessene) Masse. Bei Newton wirkt Masse direkt auf Masse, instantan und durch nichts vermittelt. Bei Einstein wirkt Masse auf Raumzeit, die dann wiederum auf Masse wirkt.

In der metrisch-dynamischen Gravitation gibt es nur Raum und Zeit. Masse ist als metrische Verdichtung eines Raumbereichs definiert, und zwar auf folgende Weise:

Nehmen wir an, ein Objekt sei kugelförmig und habe die geometrische Masse m ($m = MG/c^2$). Dann ist die Kugelfläche, die das Objekt begrenzt, im Vergleich mit dem Zustand ohne Masse um m Einheiten nach innen gerückt. Der Raumbereich erfährt also durch die Masse eine *metrische Verdichtung*: *w*enn der Radius der Kugelfläche *ohne* Masse R ist, dann ist er *mit* der Masse m nur noch R – m.

Das bedeutet, dass sich – aus der Sicht eines  Beobachters, der sich an einem beliebigen Punkt im Außenraum befindet – der Abstand zum Mittelpunkt des Raumbereichs um m verringert hat. Somit folgt für die metrische Dichte σ im Abstand r:

$$\sigma(r) = (r - m)/r$$

(in den jeweils im System gültigen Einheiten)

Dadurch wird aufgrund von Gleichung (1')

$$\frac{d\sigma}{dr} = -\frac{1}{c^2}\frac{dv}{dt}$$

im Außenraum ein auf die Masse hin gerichteter *metrischer Fluss* v(r) verursacht.

Nun kann direkt die Beschleunigung abgeleitet werden, die von der Masse auf die Elemente des metrischen Flusses (die Längendifferenziale entlang der Flusslinien) ausgeübt wird: sie beträgt $c^2m/r^2$, d.h. sie entspricht der Newtonschen Gravitationsbeschleunigung, wobei jedoch zu beachten ist, dass in der MD die gravitative Wirkung nicht instantan erfolgt, sondern mit Lichtgeschwindigkeit übermittelt wird.

Die MD ist aus der Annahme entstanden, dass die Wirklichkeit ein Gewebe aus metrischen Änderungen von Raum und Zeit ist, die einander bedingen. Die metrischen Flüsse der Gravitation sind eine spezielle Form dieser Wechselwirkung von Raum- und Zeitänderungen. Daraus ergibt sich, dass alles, was existiert, an der Beschleunigung des metrischen Flusses teilnimmt. Daher kann diese Beschleunigung als Gravitationsbeschleunigung aufgefasst werden.

Die Ermittlung dieser Beschleunigung und der daraus folgenden Größe des metrischen Flusses v(r) ist aber nur der erste Schritt. In Verbindung mit der Definition der metrischen Dichte ($\sigma$ = dr/dr') lassen sich daraus die im Fluss gültigen Raum- und Zeitmaße berechnen, aus denen wiederum die Metrik des lokalen ruhenden Systems folgt (das sich relativ zum Fluss mit –v bewegt).

Im Außenraum einer einzigen, nicht rotierenden Masse stimmen die Ergebnisse der MD exakt mit den Ergebnissen der AR überein. Sowohl auf der Erde als auch im Sonnensystem sind diese beiden Bedingungen in hinreichender Näherung erfüllt.

Das bedeutet: in den beiden Szenarien, wo die genauesten Tests der Gravitationstheorien stattfinden, besteht zwischen AR und MD – abgesehen von wenigen Ausnahmen, bei denen extrem kleine Abweichungen auftreten – kein messbarer Unterschied.

In allen anderen Szenarien führen die beiden Theorien aber zu unterschiedlichen Resultaten. Um diese Unterschiede hinsichtlich verschiedener physikalischer Systeme abschätzen zu können, müssen diese Systeme nach 3 Kriterien beurteilt werden:

1.) Massenverteilung

2.) Gesamtdrehmoment

3.) Gesamtmasse

Zu 1.) Die beiden Extreme der Massenverteilung sind *Konzentration* und *Gleichverteilung.*

Sonnensysteme und Galaxien liegen in der Nähe der beiden Extreme: In unserem Sonnensystem ist die Masse der Sonne mehr als 700 mal größer als die Gesamtmasse aller Planeten; Hingegen ist in unserer Galaxie die Gesamtmasse der Sterne mehr als 30 000 mal größer als die Masse des zentralen schwarzen Lochs.

Im Fall einer dominanten Masse – die dann den Mittelpunkt des Systems bildet – führen AR und MD zu denselben Ergebnissen. Das wurde im Abschnitt 4 demonstriert.

Wie wir im Abschnitt 5 bewiesen haben, gilt das aber nur für den Außenraum. Im Innenraum unterscheiden sich die beiden Theorien voneinander, wobei die Unterschiede mit zunehmender Annäherung ans Zentrum größer werden.

Der Innenraum stellt aber zugleich das Modell für das andere Extrem der Massenverteilung dar, also für die Gleichverteilung. Ein fester Körper – wie z.B. die Erde – ist ja nichts anderes als ein Aggregat von (annähernd) gleich verteilten Massen. Daher lassen sich die Resultate der Innenraummetrik auf alle Systeme übertragen, bei denen die Massen (annähernd) gleichverteilt sind, also z.B. auch auf Galaxien.

Das bedeutet:

In Systemen, bei denen die Massen nicht im Zentrum konzentriert, sondern eher gleichverteilt sind, ist die Zeit der MD nur an der Außengrenze identisch mit der Zeit der AR, mit zunehmender Annäherung ans Zentrum wird sie aber wesentlich stärker verlangsamt als bei der AR. (Bei der Innenraummetrik ist die Verlangsamung bei der MD fast viermal so groß wie bei der AR, siehe Abschnitt 5, Seite 21/22.)

Auch die radialen Differenziale sind nur ganz außen identisch, zum Zentrum hin werden sie aber in der MD länger, in der AR hingegen kürzer. Nur die tangentialen Differenziale sind in beiden Theorien identisch. (Diese Aussagen gelten aber nur in Bezug auf die Abhängigkeit von der Massenverteilung. Die Folgen der Rotation müssen dann zusätzlich einbezogen werden.)

Zu 2.) Falls das System um seinen Mittelpunkt rotiert, rotiert auch der Raum bzw. die Metrik, wie wir im Abschnitt 6 gezeigt haben. Der metrische Fluss hat dann zusätzlich zur radialen, zum Zentrum gerichteten Komponente auch eine tangentiale Komponente.

Das bedeutet:

Durch die tangentiale Geschwindigkeit des metrischen Flusses wird die Zeit in einem relativ zum Zentrum ruhenden (nicht rotierenden) Bezugssystem verlangsamt. Die tangentialen Längendifferenziale sind in diesem Bezugssystem im Vergleich mit der AR verkürzt. Nur die radialen Differenziale bleiben gleich.

Aus Sicht der AR erscheinen diese Veränderungen wie vergrößerte Gravitation, die nur als Folge zusätzlicher Masse aufgefasst werden kann.

Von der MD aus gesehen hat man zwei Möglichkeiten: Falls es um die Abschätzung der Rotationsgeschwindigkeit geht, kann man die Rotation der Metrik einfach zu der nach Newton oder Einstein ermittelten Rotation addieren. Falls es ganz allgemein um die Auswirkungen der stärkeren Gravitation geht, die sich aus Sicht der MD im Vergleich zur AR ergibt, kann man die geometrischen Methoden der AR zwar weiterhin nützen, muss aber die Veränderungen der Metrik berücksichtigen.

Zu 3.) Das Ausmaß der Abweichung von AR und MD hängt (selbstverständlich) von der Größe der Gesamtmasse des betrachteten Systems ab.

Auf diese Weise ermöglichen uns die einfachen Überlegungen und Ableitungen der Abschnitte 4, 5 und 6 in vielen Fällen eine Abschätzung, in welchem Maß sich AR und MD voneinander unterscheiden. Das Ergebnis dieser Abschätzung kann dann mit der Beobachtung verglichen werden.

Für die Beurteilung der Galaxienrotation ist Punkt 2 entscheidend: Gemäß unserer Argumentation in Abschnitt 6 bildet sich eine Rotation der Metrik aus, die von der Größenordnung der nach der AR zu erwartenden Rotation der Galaxie selbst ist und zu dieser Rotation addiert werden muss. Aus dieser Argumentation folgt außerdem, dass die Rotation der Metrik weit in den Raum hinausreicht, der die Galaxie umgibt, am äußeren Rand ihr Maximum erreicht und zur Mitte hin abnimmt.

Die metrische Rotation ist abhängig vom Gesamtdrehmoment der Galaxie. Es ist daher zu erwarten, dass bei elliptischen Galaxien in manchen Fällen eine wesentlich geringere Rotationsgeschwindigkeit zu beobachten ist.

Obwohl nach den obigen Ausführungen auch Punkt 1 eine Rolle spielt, weil sich ja – ebenso wie bei der Innenraummetrik – die aus AR und MD ermittelten radialen Längendifferenziale und die Zeitdifferenziale nur im Außenbereich der Galaxie annähernd gleichen und zum Zentrum hin immer stärker voneinander unterscheiden, ist dennoch anzunehmen, dass diese Unterschiede in Bezug auf die Rotationsgeschwindigkeit vernachlässigt werden können. Der Grund dafür ist einfach, dass die beobachtete Geschwindigkeit erst in den äußeren Bereichen von den Erwartungen abweicht, also dort, wo die im Zusammenhang mit der Massenverteilung bestehenden Unterschiede zwischen AR und MD nur noch gering sind.

Falls die Galaxie überhaupt kein Gesamtdrehmoment hat, dann ist sogar anzunehmen, dass bezüglich des Außenraums der Galaxie AR und MD völlig übereinstimmen, weil dieser Fall dann wieder dem Fall des Außenraums eines nicht-rotierenden festen Körpers entspricht.

Zusammengefasst ergibt sich für die Galaxienrotation Folgendes:

Im Gegensatz zu den Theorien, die aus Newtons oder Einsteins Theorie durch *ad hoc* vorgenommene Modifikationen hervorgehen, führt die MD durch das Konzept des metrischen Flusses *von selbst* zu einer größeren Rotationsgeschwindigkeit. Aus meiner Sicht stellt das einen starken Grund dafür dar, dieses Konzept weiter zu verfolgen.

Es ist erstaunlich, dass überhaupt eine Theorie existiert, die in wichtigen Bereichen (Sonnensystemen) die gesicherten Resultate der AR perfekt reproduziert, und die dennoch in anderen Szenarien (Galaxien), deren Beobachtung uns wegen ihrer großen Entfernung erst seit wesentlich kürzerer Zeit mit hinreichender Genauigkeit möglich ist, von der AR stark abweicht, und zwar anscheinend auf genau die Weise, die von der Beobachtung diktiert wird. Und das ist umso erstaunlicher, als diese Abweichung ja nicht – wie es zunächst naheliegend erscheint – *entfernungsabhängig* auftritt, sondern sich aus der Struktur der MD ergibt, als Konsequenz des metrischen Flusses, der in der AR nicht existiert.

### 8. Einschätzung

In dieser Arbeit habe ich versucht, darzustellen, welche Auswirkungen die metrisch-dynamische Sicht der Wirklichkeit auf unser Verständnis von Gravitation hat. Bisher haben sich meine Ausführungen im Wesentlichen auf das Problem der Galaxienrotation bezogen. Um die MD richtig einschätzen zu können, ist es aber nun notwendig, diese thematische Einschränkung aufzuheben.

Es gibt bekanntlich ein Problem, das zwar nicht die Gravitationstheorie selbst betrifft, aber ihre Stellung im Gesamtgebäude der Physik: der Gegensatz bzw. die Unvereinbarkeit der Theorien von Gravitation und Elektromagnetismus. Es scheint, als könnte dieser Widerspruch durch die MD vollständig eliminiert werden. Folgendermaßen:

Die AR ist eine metrische Theorie. Sie beansprucht die Metrik der Raumzeit *exklusiv* für sich: Raumzeit *ist* Gravitation. Es ist in ihr kein Platz für irgendetwas Anderes. Daraus folgt unmittelbar eine unbehebbare strukturelle Differenz zwischen Gravitation und Elektromagnetismus: G *ist* metrisch, EM *kann nicht* metrisch sein – er findet zwar *in der* Raumzeit statt, aber nicht *durch* sie; wie bei Newton ist der Raum hier eigentlich nur die Bühne für das physikalische Geschehen.

Ganz anders die MD: Sie ist zwar ebenfalls eine metrische Theorie, aber im Gegensatz zur AR beruht sie ausschließlich auf Änderungen des *Längenmaßes.* Änderungen des Winkelmaßes bleiben unberührt.

Ich habe ja schon eingangs erwähnt (in der Fußnote auf Seite 4), dass die metrische Dichte $\sigma$ in den Gleichungen (0) und (1), die die Erzeugung der Wirklichkeit darstellen, zwei mögliche Interpretationen hat: $\sigma$ kann die metrische Dichte der Länge oder die metrische Dichte des Winkels sein – oder sagen wir besser: $\sigma$ *muss* beides sein, weil die Beschreibung der Entstehung der Wirklichkeit ansonsten unvollständig wäre, da der Raum sich auf beide Arten ändern kann.

Damit ist also in der Raumzeit Platz geschaffen für andere Wechselwirkungen. Und tatsächlich führt die Interpretation von $\sigma$ als metrischer Dichte des Winkels zum Elektromagnetismus, und zwar auf eine Weise, die fast vollkommen analog zum hier dargestellten Weg zur Gravitation und ebenso einfach ist.

Somit ist die fundamentale Differenz von G und EM beseitigt und zugleich ihr Zusammenhang geklärt: Beide sind metrische Phänomene, die aus den Gleichungen (0) und (1) und der jeweils einfachsten zugehörigen metrischen Annahme folgen.

Dazu wäre noch viel mehr zu sagen. Ich werde aber meine Ausführungen hier beenden. Für eine adäquate Beurteilung des metrisch-dynamischen Aufbaus der Beschreibung der Wirklichkeit erschien es mir zwar notwendig, auf den Zusammenhang von Gravitation und Elektromagnetismus hinzuweisen, der sich daraus ergibt, aber im Rahmen meiner knappen Ausführungen über Gravitation will ich mich auf diese wenigen Bemerkungen beschränken.

Die metrisch-dynamische Gravitation ist aus metaphysischen Überlegungen entstanden. Deshalb hat diese Arbeit mit Metaphysik begonnen. Sie wird nun auch mit Metaphysik enden, weil das wichtigste Argument für die MD – das, aus meiner Sicht, jede andere Art von Gravitationstheorie ausschließt – ebenfalls metaphysischer Natur ist. Folgendermaßen:

Raum und Zeit – oder alternativ: Raum und Bewegung – sind als Basis einer Beschreibung der Wirklichkeit notwendig, weil ohne sie Nichts wäre. Wir können den sich verändernden Raum zwar nicht denken, aber wir können ihn durch das Konzept der Metrik für unser Denken verfügbar machen. Auch das erste Gesetz, das durch Gleichung (0) beschrieben wird, ist notwendig, weil ohne es Nichts wäre.

Wenn wir aber nun ein weiteres, von Raum und Zeit *unabhängiges* Element hinzufügen, dann haben wir damit nicht nur den Bereich der Notwendigkeit verlassen, sondern wir haben etwas Unmögliches postuliert: Dieses zusätzliche Element muss ja zu Raum und Zeit in kausaler Verbindung stehen, und das wäre nur dann möglich, wenn es durch Raum und Zeit definiert werden könnte. Wenn das nicht der Fall ist, dann hat das neue Element keine logische Verbindung zu dem Szenario, das wir als Ausgangsbasis der Beschreibung der Wirklichkeit bestimmt haben.

Physikalisch ausgedrückt bedeutet das Folgendes:

Es kann nur zwei Grundeinheiten geben: die Einheit der Länge und die Einheit der Zeit. Jede andere Einheit muss daraus abgeleitet sein.

Im Fall der Gravitation betrifft das die Einheit der Masse: es kann keine Masse geben, deren Einheit Kilogramm eine selbständige Grundeinheit ist. Eine solche Masse *kann* nicht auf Raum und Zeit wirken. Sie ist logisch und ontologisch von Raum und Zeit getrennt, und das bedeutet, dass eine kausale Verbindung zwischen dieser Masse und Raum und Zeit unmöglich ist.

Masse muss also durch Raum und Zeit definierbar sein. Sie muss ein *Zustand* der Raumzeit sein. Nur dann kann sie auf Raumzeit wirken und auf diesem Weg andere Massen beeinflussen. Gravitation muss daher metrisch-dynamischer Art sein. Jede andere Art von Gravitation ist unmöglich.

Daraus folgt allerdings nicht, dass die hier präsentierte Gravitationstheorie richtig ist – ich halte das metaphysische Argument für wesentlich stärker als manche meiner Ableitungen. Aber es folgt daraus, dass Newtons und Einsteins Gravitationstheorien nur Näherungen sein können.

Heinz Heinzmann
Wien, Dezember 2021

**Postskriptum**

Seit mehr als hundert Jahren bestimmt die Allgemeine Relativitätstheorie unser Verständnis der Gravitation. Das zeigt sich auch daran, dass beim Auftauchen von Unstimmigkeiten – wie jetzt beim Problem der Galaxienrotation – vor allem an Erweiterungen und Ergänzungen der Einsteinschen Feldgleichungen gedacht wird, während die theoretische Basis kaum in Zweifel gezogen wird.

Die metrisch-dynamische Gravitationstheorie kann allerdings nicht in diesem Sinn interpretiert werden – dazu unterscheidet sie sich zu stark von der AR. Also sieht man sich vonseiten der MD mit der Frage konfrontiert, ob es in den Voraussetzungen und Schlussfolgerungen Einsteins, die die Grundlage des theoretischen Gebäudes der AR bilden, irgendwelche Irrtümer gibt.

Vom metrisch-dynamischen Zugang zur Physik aus gesehen lautet die Antwort wie folgt:

Der erste Fehler tritt bereits am Anfang der Überlegungen Einsteins auf: Er setzt voraus, dass *alle* Veränderungen von Längen und Zeiten auf Gravitation bezogen werden können. Eines der Beispiele, durch die er sein Vorgehen erläutert, ist das rotierende Bezugssystem, dessen aus der Speziellen Relativitätstheorie abgeleitete metrische Veränderungen von einem mitrotierenden Beobachter als Auswirkungen eines Gravitationsfeldes gedeutet werden. Das Allgemeine Relativitätsprinzip besagt ja, dass *alle* Beobachter berechtigt sind, sich als ruhend zu betrachten – sie müssen nur die Beschleunigungen, denen sie ausgesetzt sind, auf ein (hypothetisches) Gravitationsfeld beziehen.

Aus Sicht der MDG ist das jedoch unzulässig, da die meisten dieser hypothetischen Gravitationsfelder mit der Definition des metrischen Flusses und der daraus folgenden gravitativen Beschleunigung nicht verträglich sind.

Schon aus dieser einfachen Feststellung folgt also, dass die AR auch Fälle enthält, die "unphysikalisch" sind; durch die Definition des metrischen Flusses werden den zulässigen Gravitationsfeldern wesentlich stärkere Einschränkungen auferlegt als bei der Ableitung der Feldgleichung der AR.

Außerdem ist die Voraussetzung Einsteins, dass alle raumzeitlichen Veränderungen gravitativ zu interpretieren sind, aus Sicht der MD auch deshalb unzulässig, weil ja, wie oben erwähnt, beim metrisch-dynamischen Zugang ein Teil dieser Veränderungen dem Elektromagnetismus zugerechnet werden muss. Mit seiner anfänglich getroffenen Voraussetzung verbannt Einstein aber schon am Beginn seiner Ableitungen alle anderen physikalischen Prozesse aus dem Bereich raumzeitlicher Veränderungen.

(Bekanntlich hat Einstein schon in den Jahren nach 1915 und bis an sein Lebensende versucht, diesem Mangel durch Verallgemeinerung der AR abzuhelfen. Auch Schrödinger, Weyl und Andere waren an diesem Projekt beteiligt. Ihr jahrzehntelanges Bemühen hat aber zu keinen physikalisch verwertbaren Ergebnissen geführt.)

Dies ist also die eine Seite des Irrtums: Die AR ist "zu allgemein": sie enthält Fälle, die nicht zur Gravitation gehören, und außerdem Fälle, die physikalisch nicht möglich sind.

Die andere Seite des Irrtums ist genau diejenige, die sich durch das falsche Resultat bei der Berechnung der Galaxienrotation offenbart (unter der Voraussetzung, dass keine Dunkle Materie existiert):

Es gibt Fälle, die in der AR *nicht* enthalten sind und deshalb von ihr aus nicht erklärt werden können. Wie in den Abschnitten 5 und 6 dieser Arbeit gezeigt, sind das sogar *alle* Fälle außer einem: dem Fall einer einzigen, nicht-rotierenden Masse.

Aus Sicht der MD besteht der Grund für diesen Mangel darin, dass sich der zentrale Begriff der MD – der metrische Fluss – auf dem Weg, den Einstein beschritten hat, nicht in das Modell der Gravitation integrieren lässt. So, wie Newtons Theorie aus Sicht der AR nur noch als Näherung für den Fall geringer Gravitation gelten kann, so sind nun aus metrisch-dynamischer Sicht sowohl die Newtonsche Gravitationstheorie als auch die AR als Näherungen aufzufassen, die nur dann anwendbar sind, wenn die Rotation des Raumes vernachlässigbar klein ist. Ansonsten führen sie zu grob falschen Ergebnissen.

Ich möchte dieses Postskriptum mit einer persönlichen Bemerkung abschließen: Als ich meine Gravitationstheorie entdeckt hatte, führte ich einige Tests durch, die teilweise auch im Abschnitt 4 dieser Arbeit aufgeführt sind. Nachdem meine Theorie diese Tests (durch Übereinstimmung mit der AR!) bestanden hatte – noch dazu auf so seltsame, fast lächerlich einfache Weise – war ich zunächst überzeugt, ich hätte bloß einen anderen, einfacheren Zugang zur AR gefunden. Erst Jahre später, als ich über Galaxienrotation nachdachte, begann ich zu begreifen, dass die MD von der AR abweicht.

Das Ausmaß des Unterschieds zwischen AR und MD ist mir aber erst in den vergangenen drei Monaten klar geworden, die ich mit dem Verfassen dieser Arbeit verbracht habe. Anfangs hat mich diese Einsicht irritiert; wie für viele Andere war die AR auch für mich eine der großartigsten Leistungen – wenn nicht sogar *die* großartigste Leistung – des menschlichen Geistes, ein Tempel, neben dem jedes andere Gebäude verblasst.

In den letzten drei Monaten habe ich aber gelernt, meine eigene Theorie besser zu verstehen und ihr dadurch auch mehr zu vertrauen. Inzwischen erscheint es mir wahrscheinlich, dass die AR auf einem fehlerhaften Fundament errichtet ist. Ihre Komplexität wäre demnach zu einem erheblichen Teil ein überflüssiger oder sogar irreführender Ballast.

In diesem Bild würde die MD als (wieder)entdeckte Einfachheit erscheinen – nach einem mehr als hundert Jahre dauernden Irrweg.

Aber eigentlich sind alle diese Überlegungen obsolet. Letztlich kann nur durch Beobachtung und Experiment zwischen konkurrierenden Gravitationstheorien oder der alternativen Annahme Dunkler Materie entschieden werden.