

Überlegungen zu einer allgemeingültigen Physik ohne „Kontraktion der Längen“ und „Dilatation der Zeit“

(4) Nicht-relativistische Begründung des Relativitätsprinzips in der Optik Teil 1: Grundannahmen zur Mitführung elektromagnetischer Wellen unter dem Einfluss der Gravitation

Zusammenfassung: Es wird für eine nicht-relativistische Begründung der Ausdehnung des Relativitätsprinzips auf die Optik ein Erklärungsmodell zur Diskussion gestellt, wonach elektromagnetische Wellen unter dem Einfluss von Gravitationsfeldern geeigneter Stärke die Bewegung von Himmelskörpern räumlich und zeitlich begrenzt mitvollziehen.

1. Das Experiment von Michelson und Morley (vgl. Abschn. 1) erbrachte den endgültigen Beweis, dass die Raumbewegung der Erde keinen Einfluss auf das optische Geschehen in einer irdischen Versuchsanordnung hat. Die daraus folgende Einbeziehung der Optik in den Geltungsbereich des Relativitätsprinzips ist unstrittig. Kontrovers wird hingegen die Frage diskutiert, wie das Relativitätsprinzip in der Optik zu begründen sei.

1. 1. Nicht-relativistisch ist die Einflusslosigkeit der Raumbewegung eines Bezugssystems auf die systeminternen optischen Vorgänge damit zu erklären, dass dieses System gegen die in ihm laufenden elektromagnetischen Wellen ruht, weil diese – aus welchem Grund auch immer - die Schwerpunktsbewegung dieses Systems mitvollziehen. Ein Modell dieser Art wird im vorliegenden Text zur Diskussion gestellt.

1. 2. Relativistisch wird das Relativitätsprinzip in der Optik damit begründet, dass die Lorentzschen Raumzeiteffekte „Kontraktion der Längen in Bewegungsrichtung“ und „Dilatation der Zeit“ die (von den Experimentatoren vorausgesetzte, aber keineswegs bewiesene) Bewegung z. B. der Michelsonschen Versuchsanordnung gegen das in ihr pendelnde Licht exakt kompensieren und damit unauffindbar machen.

2. Das nicht-relativistische Erklärungsmodell ist der klassischen Mechanik entlehnt, in der das Relativitätsprinzip damit begründet wird, dass ein geradlinig-gleichförmig bewegtes Bezugssystem („Inertialsystem“) gegen alle in ihm befindlichen Körper ruht, weil diese die Bewegung des Bezugssystems qua Trägheit mitvollziehen. In Analogie dazu wollte schon vor dem Michelsonexperiment eine Minderheit von Physikern (Cauchy, Stokes u. a.) die sich abzeichnende Ausdehnung des Relativitätsprinzips auf die Optik mit der Annahme begründen, dass ein Körper (Sender resp. Empfänger) gegen die in einer systeminternen Versuchsanordnung laufenden elektromagnetischen Wellen ruht, wenn dieser Körper von einer mitbewegten „Ätherhülle“ als Träger und Isotropiesystem der elektromagnetischen Wellen umgeben ist. In diesem Fall kann die Raumbewegung z. B. des Bezugssystems Erde in den Grenzen der irdischen „Ätherhülle“ auf das systeminterne optische Geschehen genau so wenig einen Einfluss haben wie auf die Ausbreitung des Schalls in der Lufthülle der Erde oder auf die Bewegung makroskopischer Körper in den Grenzen des himmelsmechanischen „Mitbewegungsraumes“ der Erde. Dieses Erklärungsmodell hat den offensichtlichen Vorteil, dass es das Relativitätsprinzip in beiden Bereichen der Physik mit ein und derselben Mitbewegungsannahme begründet.

2. 1. Gegen das „Ätherhüllen“-Modell sind jedoch nicht auszuräumende Einwände zu erheben, die sich in der Regel auf die vorauszusetzenden widersprüchlichen physikalischen Eigenschaften des „Äthers“ als Träger transversaler Wellen beziehen. Hinzu kommt, im Hinblick auf die Bradleysche Aberration angenommen werden muss, dass zwar die von einer irdischen Lichtquelle emittierten Wellen sowohl longitudinal, als auch transversal an der Bewegung der irdischen „Ätherhülle“ teilnehmen, dass aber „die Lichtquanten der außerirdischen Lichtquellen auch nach ihrem Eindringen in den Äther der Erde keine Querbewegung von letzterem annehmen“ (Lenard, Über die Lichtfortpflanzung im Himmelsraum). Diese Voraussetzung soll die unstrittige Erfahrungstatsache erklären, dass eine stellare (Bradleysche) Aberration nur beobachtet wird, wenn das erdgebundene Beobachtungsgerät gegen die einfallenden extraterrestrischen Lichtwellen transversal bewegt ist. Die Annahme, dass ein und dieselbe Ätherhülle zwar die von einer irdischen Quelle abgestrahlten Lichtwellen sowohl longitudinal, als auch transversal mitführt, die extraterrestrischen Lichtwellen aber nur longitudinal und nicht transversal, kann nicht überzeugen. Es wird deshalb in den vorliegenden Texten ein Erklärungsmodell vorgeschlagen, das nicht auf die Mitführung einer „Ätherhülle“ abstellt, sondern auf die Mitführung der elektromagnetischen Wellen selber unter dem Einfluss der Gravitation. Dieses Modell erlaubt zwei komplementäre Annahmen: Das Gravitationsfeld der Erde ist stark genug, um die von einem irdischen Sender abgestrahlten Wellen zu veranlassen, den Bewegungszustand der Erde, den die entsprechenden Energiequanten vor Emission mit dieser gemein hatten, zeitlich begrenzt beizubehalten. In diesem Fall ruht die Erde sowohl longitudinal, als auch transversal gegen die von einem irdischen Sender abgestrahlten Lichtwellen. Es ist aber nicht stark genug, um die von außen einfallenden elektromagnetischen Wellen zu zwingen, den Bewegungszustand der Erde, an dem sie zuvor *nicht* teilgenommen haben, schon vor Absorption durch einen irdischen Empfänger zu übernehmen. In diesem Fall muss das auf dem Erdkörper ruhende Beobachtungsgerät gegen das extraterrestrische Licht sowohl transversal, als auch longitudinal bewegt sein. Die transversale Bewegungskomponente erklärt die stellare Aberration, die longitudinale Bewegungskomponente erklärt den vom irdischen Beobachter wahrgenommenen astronomischen Dopplereffekt.

2. 2. Die Mehrheit auch der heutigen theoretischen Physiker votiert allerdings nicht nur unter Berufung auf die Bradleysche Aberration, sondern auch unter Hinweis auf die Maxwellsche Elektrodynamik ganz grundsätzlich gegen jeden Versuch, das Relativitätsprinzip in der Optik mit der Voraussetzung einer „optischen Mitbewegung“ zu begründen. Es wird an anderer Stelle zu zeigen sein, dass Maxwell selber seine Formeln zwar für ein im Raum ruhendes Isotropiesystem abgeleitet hat, dass er aber nicht grundsätzlich ausschloss, dass das Isotropiesystem der irdischen Lichtfortpflanzung durch die Einwirkung einer Kraft, die zu definieren er noch keine Möglichkeit sah, mit der Erde mitbewegt sein könnte.

3. Mit dem unbeirrbareren Votum der Mehrheit der Physiker gegen die Annahme eines mit einem Körper wie der Erde mitbewegten Isotropiesystems der Vakuumlichtfortpflanzung geriet die newtonische Physik bekanntlich in einen nicht behebbaren Erklärungsnotstand:

3. 1. Da die newtonische Optik einerseits voraussetzte, dass die geschwindigkeitsabhängigen optischen Erscheinungen durch die Bewegung der Körper gegen das zwischen ihnen laufende Licht hervorgerufen werden, und anderer-

seits unter Berufung auf Maxwell postulierte, dass jeder ruhemassebehaftete Körper gegen die von ihm emittierten oder registrierten elektromagnetischen Wellen bewegt sein müsse, konnte sie nicht erklären, warum im Michelsonexperiment ein entsprechender geschwindigkeitsabhängiger Effekt nicht gefunden wird, obwohl die Versuchsanordnung nach Voraussetzung gegen die in ihr pendelnden elektromagnetischen Wellen bewegt sein sollte.

3. 2. Die Lorentzsche Optik der bewegten Körper und die aus ihr hervorgegangene spezielle Relativitätstheorie konnte diesen Erklärungsnotstand nur durch einen radikalen Paradigmenwechsel beheben: Es wird postuliert, dass die geschwindigkeitsabhängigen optischen Erscheinungen (Aberration, klassischer Dopplereffekt u. a. sowie eine mögliche Variabilität der Lichtlaufzeiten in einer gegen die pendelnden Wellen bewegten Mess-Strecke) gar nicht auf die Bewegung der Körper gegen das Licht zurückzuführen sind. Ursache dieser Erscheinungen soll vielmehr die durch die mechanische Relativbewegung des Senders gegen den „Beobachter“ (Empfänger) hervorgerufene Diskrepanz in der „lokalen raumzeitlichen Metrik“ dieser Systeme sein, die wiederum durch die senderseitig und beobachterseitig unterschiedlichen Raumzeiteffekte „Kontraktion der Längen in Bewegungsrichtung“ und „Dilatation der Zeit“ hervorgerufen wird. Umgekehrt wird angenommen, dass derartige Erscheinungen nicht beobachtet werden, wenn Sender und Empfänger („Beobachter“) relativ zu einander ruhen, weil in diesem Fall die senderseitige und die beobachterseitige raumzeitliche Metrik übereinstimmen. Unter diesen Prämissen erklärt sich die Einflusslosigkeit der Raumbewegung der Erde auf das Michelsonexperiment ohne die Annahme einer „optischen Mitbewegung“ einfach damit, dass in der Versuchsanordnung alle Teile, die als Sender oder Empfänger funktionieren, relativ zu einander ruhen. Und die in anderen Experimenten tatsächlich beobachteten geschwindigkeitsabhängigen optischen Erscheinungen können darauf zurückgeführt werden, dass der Sender und der Empfänger relativ zu einander bewegt sind.

3. 3. Gegen diese relativistische Auffassung wird allerdings schon seit langem eingewendet, dass sie mit der Erfahrung nicht vereinbar sei, weil aus ihr folgt, dass die beobachtbaren geschwindigkeitsabhängigen Erscheinungen jeweils sowohl von der Senderbewegung, als auch von der Beobachterbewegung abhängen müssen, weil in die Berechnung der Relativgeschwindigkeit zweier Körper die Geschwindigkeit beider Körper eingeht. Es ist aber z. B. die stellare Aberration vom Bewegungszustand der Lichtquelle genau so unabhängig, wie die planetare Aberration (Lichtlaufzeitkorrektur) von der Beobachterbewegung unabhängig ist. Darüber hinaus lässt sich (in neuerer Zeit vor allem anhand der Daten der Satellitennavigation) zeigen, dass die Relativbewegung des Senders gegen den Beobachter weder eine ausreichende, noch eine überhaupt notwendige Bedingung dafür ist, dass ein geschwindigkeitsabhängiger optischer Effekt verursacht und beobachtet wird. Hierzu ausführlicher in einem nachfolgenden Abschnitt.

3. 3. 1. Die gegenteiligen Behauptungen der relativistischen Optik der bewegten Körper erweisen sich in diesem Licht als eine unzulässige Verallgemeinerung der irdischen Verhältnisse und vor allem des Verursachungsmodus' des nicht-quadratischen Dopplereffektes. Dieser Effekt wird in der Tat nicht beobachtet, wenn Sender und Beobachter sich in gemeinsamer Translation befinden und somit relativ zu einander ruhen. In diesem Fall wird senderseitig und empfängerseitig ein Effekt identischer Größe mit dem entgegen gesetzten Vorzeichen verursacht, so dass sich die beiden Effekte exakt aufheben. Allerdings gilt diese Annahme nur für Geschwindigkeiten $\lll c$. Es lässt sich zeigen, dass auch für den optischen Dopplereffekt die für den akustischen Dopplereffekt zu machende Einschränkung gilt, dass bei höheren Geschwindigkeiten die Bewegung des Senders einen Effekt liefert, der nicht exakt

mit dem bei gleicher Geschwindigkeit durch die Beobachterbewegung verursachten Effekt identisch ist. Hierzu ausführlicher in einem nachfolgenden Text zur Deutung der sogenannten „Pionieranomalie“. Für andere geschwindigkeitsabhängige optische Erscheinungen, die entweder nur von der Beobachterbewegung abhängen (wie die stellare Aberration), oder nur von der Senderbewegung (wie die planetare Aberration), trifft diese Besonderheit ohnehin nicht zu.

3. 4. Nach dem bisher Gesagten ist auch die relativistische Begründung für die (als solche unabdingbare) Ausdehnung des Relativitätsprinzips auf die Optik nicht widerspruchsfrei.

4. Für einen Leser, der eine nicht-relativistische Begründung für die Einbeziehung der Optik in den Geltungsbereich des Relativitätsprinzips auch ohne ausführlichere Widerlegung der relativistischen Annahmen für diskussionswürdig und darüber hinaus auch die Annahme einer mitgeführten „Ätherhülle“ als Träger und Isotropiesystem der Vakuumlichtfortpflanzung für nicht widerspruchsfrei hält, soll im vorliegenden Abschnitt die Geltung des Relativitätsprinzips in der Optik mit dem Einfluss der Gravitation auf die Photonen begründet werden. Im vorliegenden ersten Teil sind einige grundlegende Annahmen für die Hypothese einer gravitationsgestützten Mitbewegung von Lichtwellen mit einem Himmelskörper geeigneter Masse zu formulieren:

4. 1. Elektromagnetische Wellen sind wie jede Welle als eine sich im Raum fortpflanzende Störung eines Ruhezustandes definiert. Da sich diese Wellen auch im Vakuum fortpflanzen, muss es im „leeren Raum“ ein Etwas geben, dessen Ruhezustand gestört wird. Als dieses Etwas hat Einstein nach dem Verzicht auf den „Äther“ das Vakuum selber definiert, indem er dem „leeren Raum“ die Fähigkeit zuschrieb, die Entstehung und isotrope Fortpflanzung von elektromagnetischen Wellen zu gewährleisten.

4. 2. Einstein sagt ausdrücklich, dass der „leere Raum“ nicht eigenschaftslos sein kann, wenn er die Funktion eines Isotropiesystems der Vakuumlichtfortpflanzung erfüllen soll. Diese Annahme wird auch durch die Erfahrungstatsache nahegelegt, dass der „leere Raum“ außer elektromagnetischen Wellen noch andere (elektrische, magnetische) „Felder“ enthalten kann, von denen man annehmen muss, dass auch sie ohne einen entsprechenden „Träger“ nicht existieren könnten. Vor allem aber enthält der leere Raum die von den Ruhemassen ausgehenden ubiquitären und nicht begrenzten Gravitationsfelder, deren Existenz und Wirkung auf andere Körper nach der hier zu vertretenden Auffassung nur zu erklären ist, wenn man einen vermittelnden Feldträger voraussetzt.

4. 3. Einstein hat nach Kenntnis des Verf. die besondere Eigenschaft, die das Vakuum als Träger und Isotropiesystem speziell der Lichtwellen qualifiziert, nicht definiert – die relativistische Theorie benennt mit den Raumzeiteffekten resp. der „Krümmung der Raumzeit“ nur die Bedingung einer isotropen resp. ggfls anisotropen Fortpflanzung von Lichtwellen im Vakuum, aber nicht die Bedingung für die Existenz von „Feldern“.

5. Nach dem bisher Gesagten hält Verf. die Voraussetzung eines „Trägers“ der im Vakuum vorhandenen Felder für unverzichtbar. Man könnte für diesen Feldträger die Lenardsche Bezeichnung „Uräther“ verwenden. Wegen der präjudizierenden Assoziationen des Terminus „Äther“ und der weiter oben erwähnten Einwände gegen die Ätherhypothese zieht Verf. es jedoch vor, nur von einem „Feldträger“ zu sprechen, zumal dieser Terminus, soweit Verf. sieht, bisher in der theoretischen Physik nicht

üblich ist, so dass eine inhaltliche Abgrenzung von unerwünschten Konnotationen nicht erforderlich ist.

5. 1. Von diesem „Feldträger“ sei gesagt, dass er keine „feinstoffliche“ Eigenschaften hat und auch nicht als eine „besondere Substanz“ zu definieren ist, die weder unter den Begriff der Materie (sprich: der Ruhemasse), noch unter den Begriff der Energie fallen soll (Lenard). Er sei ferner im Widerspruch zum „Ätherhüllenmodell“ definiert als ein im Raum ruhendes, d. h. von den Körpern *nicht* mitgeführtes energetisches unbegrenztes Etwas, das sich von den energetischen „Feldern“ und somit auch von der Gravitation dadurch unterscheidet, dass es die Existenz von ruhemassebehafteten Körpern und „Feldern“ zwar erklärt (s. u.), aber nicht zur Voraussetzung hat. Außerdem sei angenommen, dass der „Feldträger“ den „leeren Raum“ nicht „ausfüllt“, sondern ihn im eigentlichen Sinne darstellt.

5. 2. Da die im Raum vorhandenen Gravitationsfelder nicht sinnvoll begrenzt werden können, muss auch für den „Feldträger“ als Träger der Gravitation eine räumliche Unbegrenztheit vorausgesetzt werden. Und da Raum und Zeit zwei von einander nicht zu trennende Kategorien des Seins sind, muss nach der hier vertretenen Auffassung auch der Zeit das Merkmal der Unbegrenztheit zukommen.

5. 3. Ferner sei angenommen, dass der „Feldträger“ eine unbegrenzte Menge gequantelter ruhemasseloser Energie darstellt und dass die „Feldquanten“ komplimentäre Eigenschaften haben, die den Aufbau und den Zerfall jener endlichen ruhemasselosen und ruhemassebehafteten höheren Strukturen ermöglichen, die die Physik unter Begriffen wie „Teilchen“, „Körper“ oder „Welle“ kennt. Auch muss angenommen werden, dass die ruhemasselosen Feldquanten wie jede Energie ein Massenäquivalent haben. Daran schließt sich die (hier nicht zu diskutierende) Frage an, welche Bedeutung die Annahme eines Massenäquivalents der ruhemasselosen Feldquanten für die Suche nach einer „schwarzen Materie“ haben könnte.

5. 4. Die in der Teilchenphysik beobachtbaren ruhemasselosen oder ruhemassebehafteten „Teilchen“ und die makroskopischen Körper, die sich aus solchen Teilchen zusammensetzen, sind nach dem vorstehend Gesagten als quantitativ und qualitativ unterschiedliche Konzentrationen von Feldquanten zu verstehen, wobei ruhemassebehaftete Teilchen eine höhere Konzentration von Feldquanten erfordern als ruhemasselose Teilchen. Mit anderen Worten, „Ruhemasse“ wird hier als eine besondere Eigenschaft bestimmter Konzentrationen von ruhemasselosen, aber mit einem Massenäquivalent ausgestatteten Feldquanten verstanden. In dieser Entstehung von ruhemassebehafteten Körpern aus ruhemasselosen Feldquanten gibt sich jener „Umschlag der Quantität in Qualität“ zu erkennen, der zu den dialektischen Grundannahmen eines materialistischen Weltbildes gehört.

5. 5. Die Anwesenheit eines ruhemassebehafteten Körpers im Raum gibt sich als Spannungszustand im Feldträger zu erkennen, der als *instantan* mit den Körpern mitbewegtes, räumlich nicht begrenzbares, aber mit dem Abstandsquadrat schwächer werdendes Gravitationsfeld in Erscheinung tritt. Auch wenn man annimmt, dass dieser Spannungszustand sich, ausgehend vom Ort des Entstehens eines ruhemassebehafteten Teilchens, allseitig immer weiter im Raum ausbreitet, ist diese Auffassung mit der relativistischen Definition der Gravitation als Wellenphänomen und mit der Annahme von „Gavitonen“, die sich mit Lichtgeschwindigkeit (oder nach Auffassung einiger Autoren mit millionenfacher Überlichtgeschwindigkeit) fortpflanzen, nicht

vereinbar. Nach der hier vertretenen Auffassung ändert sich die Gravitationsbeziehung zwischen zwei Körpern ohne Zeitverzug mit der Änderung ihrer geometrischen Zuordnung im Raum.

5. 5. 1. In diesem Zusammenhang wäre zu fragen, ob nicht das Phänomen der „Quantenverschränkung“, wonach sich physikalische Zustände zweier räumlich getrennter „verschränkter“ Quanten ohne Zeitverzug gleichzeitig ändern, vor diesem Hintergrund zu sehen ist.

5. 6. Die Annahme eines räumlich und zeitlich unendlichen „Feldträgers“ als Urgrund allen Seins vermeidet die sehr unbefriedigende Annahme der geltenden Theorie, dass der uns erkennbare Kosmos im Urknall „aus dem Nichts“ entstanden sei. Allerdings muss unter dieser Annahme die schon von Olbers gestellte Frage beantwortet werden, warum wir von der vorauszusetzenden unbegrenzten Vielzahl von Lichtquellen außerhalb des für uns wahrnehmbaren Universums, von denen eine unendlich große Anzahl schon „vor Ewigkeiten“ Lichtstrahlen ausgesandt hat, keine Kunde haben. Hierzu ausführlicher im 2. Teil dieses Abschnittes.

5. 6. 1. In unterschiedlichen Zusammenhängen kann nach dem hier skizzierten Modell der Begriff „Vakuum“ als Synonym für den Terminus „Feldträger“ verwendet werden, wie dies im Grunde schon bei Einstein der Fall ist. Es ist aber ausdrücklich zu sagen, dass die im Vakuum vorhandenen „Felder“ zu unterscheiden sind von ihrem Träger als Urgrund des Seins.

5. 6. 2. An anderer Stelle wäre der Frage nachzugehen, in wie weit sich die vorstehend skizzierten Annahmen in das Weltbild einfügen, dass Hawking und Mlodinow in „The Grand Design“ entwerfen.

6. Mit den vorstehend skizzierten Annahmen lässt sich die in Abs. 2. 1. bereits skizzierte Möglichkeit eines Einflusses der Gravitation auf die Fortpflanzung von elektromagnetischen Wellen im Vakuum begründen:

6. 1. Einflüsse der Gravitation auf die Frequenz und die Fortpflanzungsbewegung der elektromagnetischen Wellen werden auch im Rahmen der Relativitätstheorie, allerdings grundsätzlich nur auf dem Umweg über die Lorentzschen Raumzeiteffekte resp. die Einsteinsche „Krümmung der Raumzeit“ begründet. Ohne die relativistischen Annahmen erklärt sich dieser Einfluss unmittelbar aus der (auch, aber nicht nur von der Relativitätstheorie postulierten) Äquivalenz von Energie und Masse. Aus dieser Äquivalenz folgt die „bewegte Masse“ der Photonen, an der Gravitation longitudinal und transversal angreifen kann. Die Einwände, die in neuerer Zeit gerade von relativistischen Autoren (und gelegentlich auch unter Berufung auf Einstein selber) gegen den Begriff einer „bewegten Masse“ erhoben werden, müssen hier nicht diskutiert werden, zumal Verf. nicht beurteilen kann, welchen Stellenwert diese Einwände in der Relativitätstheorie selber haben. Setzt man die „bewegte Masse“ der Photonen voraus, so gelangt man zu folgenden allgemeinen Annahmen:

6. 2. *Longitudinal* an der bewegten Masse der in Emission befindlichen Photonen angreifende Gravitation bewirkt die Einsteinsche „Gravitationsrotverschiebung“, weil die in Emission befindliche Welle Arbeit gegen die Gravitation leisten muss. *Transversal* an der bewegten Masse der Photonen angreifende Gravitation bewirkt die von Einstein vorhergesagte Krümmung der Lichtstrahlen in der Umgebung massereicher Himmelskörper und ist durch Erscheinungen wie die „Gravitationslinsen“ und die „Einsteinschen Ringe“ hinlänglich bewiesen.

6. 3. Wird Gravitation newtonisch als Kraft und die „bewegte Masse“ der Photonen als Ausdruck ihres Trägheitsverhaltens aufgefasst, so scheint die Annahme nahelie-

gend, dass longitudinal und transversal an der bewegten Masse der Photonen an-greifende Gravitation nicht nur eine Krümmung der Photonenbahnen bewirkt, son-derne die Photonen auch veranlasst, innerhalb eines begrenzten Radius' der Schwerpunktsbewegung eines gravitierenden Zentrums sowohl längs, als auch quer zu ihrer eigenen Fortbewegungsrichtung zu folgen. Unter dieser Annahme kann das Relativitätsprinzip in der Optik in Analogie zur Mechanik damit begründet werden, dass die Bewegung eines Bezugssystems dann (und nur dann!) keinen Einfluss auf die systeminternen optischen Vorgänge hat, wenn (und solange) die elektromagneti-schen Wellen unter dem Einfluss von Gravitationsfeldern geeigneter Stärke an der Bewegung des gravitierenden Zentrums in sehr ähnlicher, aber nicht identischer Weise teilnehmen, wie ruhemassebehaftete Körper.

6. 4. Aus dem Zusammenhang zwischen „optischer Mitbewegung“ und Gravitation folgt, dass die „optischen Mitbewegungsräume“, deren Bewegung eine elektromag-netische Welle zum Zeitpunkt t mitvollzieht, eine der hierarchischen Struktur der (himmels)mechanischen Mitbewegungsräume vergleichbare (wenn auch hinsichtlich ihrer Reichweite nicht deckungsgleiche) Struktur haben: Eine elektromagnetische Welle, die zum betrachteten Zeitpunkt mit der Erde mitbewegt ist, ist zum gleichen Zeitpunkt zumindest auch mit der Sonne und dem Zentrum der Milchstraße mitbe-wegt. Aus der Tatsache, dass der jeweils weniger umfassende optische Mitbewe-gungsraum zusammen mit seinem gravitierenden Zentrum himmelsmechanisch ge-gen alle übergeordneten Mitbewegungsräume bewegt sein muss, folgt, dass die be-trachtete Welle zum Zeitpunkt t nur im *kleinsten* jener optischen Mitbewegungsräu-me, deren Raumbewegung sie mitvollzieht, eine isotrope konstante Geschwindigkeit haben kann. Für einen Beobachter in einem übergeordneten optischen Mitbewe-gungsraum addiert sich hingegen die Geschwindigkeit v des untergeordneten Mit-bewegungsraumes vektoriell zur Vakuumlichtgeschwindigkeit c . Diese Schlussfol-gerung steht im Widerspruch zu den Lorentzischen Additionstheoremen, die eine gali-leische vektorielle Addition von mechanischer Geschwindigkeit und Lichtgeschwin-digkeit nicht zulassen. Hierzu ausführlicher in einem Abschnitt über die vergleichende Erklärungsmächtigkeit des relativistischen und des hier zur Diskussion gestellten Modells.

7. Es sind allerdings auch grundsätzliche Unterschiede in der Realisierung der Mit-bewegung in Optik und Mechanik nicht zu übersehen, die sich vor allem an zwei Punkten festmachen lassen:

7. 1. Die für die Begründung des Relativitätsprinzips in der *Mechanik* unverzichtbare Voraussetzung, dass das Bezugssystem „geradlinig-gleichförmig“ bewegt sei, wird bei der Begründung des hier zur Diskussion gestellten Modells einer „optischen Mit-bewegung“ unter dem Einfluss der Gravitation nicht erwähnt, weil diese Vorausset-zung wegen der Massenabhängigkeit der Gravitation ganz offensichtlich keine aus-reichende Bedingung für eine lokale Isotropie der Vakuumlichtfortpflanzung sein kann. Verf. wagt in diesem Zusammenhang die Behauptung, dass die Vakuumlicht-fortpflanzung in dem geradlinig-gleichförmig bewegten Eisenbahnzug der relativisti-schen Gedankenexperimente auch für den mitbewegten Beobachter *nicht isotrop* wäre, weil die Masse eines irdischen Transportmittels viel zu klein ist, um ein Gravita-tionsfeld hinreichender Stärke als Grundlage eines mitbewegten „lokalen Isotropie-systems“ zu erzeugen. Ob eine (quasi) geradlinig-gleichförmige Bewegung auch nur eine *notwendige* Bedingung für die tatsächlich beobachtbare Isotropie der Vakuum-lichtfortpflanzung z. B. im „Raumschiff Erde“ ist, wäre erst noch zu diskutieren.

7. 2. Ein weiterer Unterschied zwischen mechanischer und optischer Mitbewegung erklärt den Einsteinschen Satz von der Vakuumlichtgeschwindigkeit als Grenzgeschwindigkeit. Ein ruhemassebehafteter Körper nimmt beim Entweichen aus einem mitführenden System die auf seiner Bewegungsbahn liegende Komponente der Geschwindigkeit dieses Systems mit in den übergeordneten himmelsmechanischen Mitbewegungsraum, worauf u. a. die Fly-by-Technik in der Raumschiffnavigation beruht. Auf diese Weise können einem Flugkörper so lange zusätzliche Geschwindigkeiten (und Bewegungsrichtungen) verliehen werden, wie seine Geschwindigkeit im neuen Bezugssystem die Grenzgeschwindigkeit c nicht erreicht oder gar überschreitet. Die Möglichkeit, dass auf diese Weise ein ruhemassebehafteter Körper die Vakuumlichtgeschwindigkeit erreicht oder gar überschreitet, wird verhindert durch den Zuwachs an dynamischer Masse: Experimente mit beschleunigten Elektronen zeigen, dass mit wachsender Geschwindigkeit ein immer größerer Teil der zugeführten Energie nicht in Geschwindigkeit umgewandelt wird, sondern in „bewegte Masse“, d. h. in Trägheitswiderstand (kinetische Energie). Die elektromagnetische Welle hingegen hat im Vakuum des jeweils „kleinsten optischen Mitbewegungsraumes“ (s. o.) bereits ab Emission die (frequenzunabhängige) „höchstzulässige“ Geschwindigkeit c (deren Herkunft nach Kenntnis des Verf. bisher nicht bekannt ist). Beim Entweichen aus einem aktuell „kleinsten optischen Mitbewegungsraum“ A kann sie (anders als ein ruhemassebehafteter Körper) die auf ihrem Geschwindigkeitsvektor liegende Komponente der Geschwindigkeit v des Bezugssystems A nicht „mitnehmen“ in den übergeordneten Mitbewegungsraum B , weil sie in diesem dann „kleinsten optischen Mitbewegungsraum“ wieder die konstante Geschwindigkeit c haben muss. Es wird deshalb die Geschwindigkeit v der aufgegebenen Mitbewegung in Übereinstimmung mit dem Satz von der Erhaltung der Energie richtungsabhängig in einen Zuwachs oder in einen Verlust an Schwingungsenergie bei gleichbleibender Vakuumlichtgeschwindigkeit umgewandelt (nicht-quadratischer Dopplereffekt). Mit anderen Worten, der klassische Dopplereffekt hat in der Optik (teleologisch ausgedrückt) die gleiche „Funktion“, die die geschwindigkeitsabhängige Massenzunahme in der Mechanik hat: Er verhindert, dass die Vakuumlichtgeschwindigkeit *im aktuell kleinsten optischen Mitbewegungsraum* $> c$ oder $< c$ wird.

8. Verf. meint mit dem bisher Gesagten gezeigt zu haben, warum er die Annahme einer „optischen Mitbewegung“ unter dem Einfluss der Gravitation für diskussionswürdig hält. In nachfolgenden Teilen dieses Abschnittes soll die Realisierung dieses Modells in der gravitationserfüllten Realität unseres Universums eingehender beschrieben sowie die Erklärungsmächtigkeit des relativistischen und des hier zur Diskussion gestellten Modells mit einander verglichen werden.

Oskar Törne
14.03.2013