

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

(3) Nicht-relativistische Ableitung der „relativistischen“ Faktoren

Zusammenfassung: Es wird gezeigt, dass die für physikalische Berechnungen im Bereich „relativistischer“ Geschwindigkeiten unverzichtbaren Faktoren $\sqrt{1-(v/c)^2}$ und $1/\sqrt{1-(v/c)^2}$ auch ohne Bezugnahme auf die relativistischen Hypothesen (Lorentzsche Raumzeiteffekte und Additionstheoreme, „gekrümmte Raumzeit“, „absolute Konstanz“ der Vakuumlichtgeschwindigkeit u. a.) aus physikalischen Erfahrungstatsachen abgeleitet werden können, wenn zusätzlich zu der klassischen Annahme, dass die bewegungs- und richtungsabhängigen optischen Erscheinungen auf die Bewegung der Körper gegen das zwischen ihnen laufende Licht zurückzuführen seien, zwei der newtonischen Physik noch nicht oder nur im Ansatz bekannte Erkenntnisse der modernen Physik berücksichtigt werden: a) es gibt ruhemassebehaftete Bezugssysteme wie die Erde, deren Raumbewegung keinen Einfluss auf das systeminterne optische Geschehen hat; b) jeder Energiebetrag hat ein Massenäquivalent.

1. Es sei definiert, was Verf. in der Optik der bewegten Körper unter einer „relativistischen“ resp. „nicht-relativistischen“ Ableitung z. B. des Faktors $1/\sqrt{1-(v/c)^2}$ versteht:

1. 1. Als „relativistisch“ wird hier eine Ableitung dieses Faktors bezeichnet, die voraussetzt, dass die durch das Michelsonexperiment bewiesene Einflusslosigkeit der Raumbewegung der Erde auf das rein terrestrische optische Experiment mit den von Lorentz u. a. in die Physik eingeführten Raumzeiteffekten („Kontraktion der Längen in Bewegungsrichtung“ und „Dilatation der Zeit“) resp. den daraus folgenden Verallgemeinerungen (Lorentzsche Additionstheoreme, absolute Konstanz der Vakuumlichtgeschwindigkeit, „gekrümmte Raumzeit“) zu erklären sei. Die Raumzeiteffekte machen dann (und nur dann!) die vorausgesetzte Bewegung eines Bezugssystems gegen das Licht unauffindbar, wenn Sender und Beobachter relativ zu einander ruhen. Diese Erklärung greift nur, wenn umgekehrt vorausgesetzt wird, dass die in anderen Experimenten tatsächlich beobachtbaren bewegungsabhängigen optischen Erscheinungen nicht auf die Bewegung der Körper gegen das Licht, sondern auf die Relativbewegung Sender:Beobachter zurückzuführen seien. Weil aber in der Relativgeschwindigkeit Sender:Beobachter die Vakuumlichtgeschwindigkeit nicht vorkommt, können die Faktoren $\sqrt{1-(v/c)^2}$ und $1/\sqrt{1-(v/c)^2}$, obwohl sie formal auf den Quotienten $c^2/(c^2-v^2)$ zurückgeführt werden können, aus relativistischer Sicht nicht damit begründet werden, dass die optischen Erscheinungen unmittelbar vom Verhältnis der Vakuumlichtgeschwindigkeit zur Vektorsumme von Vakuumlichtgeschwindigkeit und mechanischer Geschwindigkeit abhängen. Die Lichtgeschwindigkeit gelangt erst durch die von der Relativgeschwindigkeit Sender:Beobachter abhängenden Raumzeiteffekte in die Berechnung. Die Tatsache hingegen, dass die entsprechenden Formeln ursprünglich (vgl. Abschn. 1) aus einer vektoriellen Addition von mechanischer Geschwindigkeit und Lichtgeschwindigkeit hervorgegangen sind, spielt in der relativistischen Erklärung auch deswegen keine Rolle mehr, weil aus den Raumzeiteffekten die Lorentzschen Additionstheoreme folgen, die eine galileische vektorielle Addition von mechanischer Geschwindigkeit und Lichtgeschwindigkeit grundsätzlich nicht zulassen. Dieses Modell führt auf die Relativierung von Raum, Zeit und Gleichzeitigkeit sowie auf die Verabsolutierung der Vakuumlichtgeschwindigkeit und ersetzt die Newtonsche Gravitationstheorie durch die Einsteinsche Annahme einer „gekrümmten Raumzeit“. Die Frage, ob und in welchem Sinne dieses Modell auch eine Relativierung der „Masse“ nach sich zieht, scheint gegenwärtig in der Relativistik umstritten (s. u.).

1. 2. „Nicht-relativistisch“ nennt Verf. eine Ableitung der Faktoren $\sqrt{1-(v/c)^2}$ und $1/\sqrt{1-(v/c)^2}$, die aus dem Michelsonbefund den Schluss zieht, dass die Einflusslosigkeit der Raumbewegung der Erde auf das irdische optische Geschehen darauf zurückzuführen sei, dass die Erde gegen das in einer irdischen Versuchsanordnung laufende Licht ruht. In diesem Fall kann die klassische Voraussetzung beibehalten werden, dass umgekehrt alle beobachtbaren bewegungs- und richtungsabhängigen optischen Erscheinungen auf die Bewegung des Senders und/oder Beobachters gegen das zwischen ihnen laufende Licht zurückzuführen seien. Diese Auffassung setzt allerdings voraus, dass eine Erklärung für die Behauptung gefunden wird, dass ein Bezugssystem wie die Erde gegen die in einer systeminternen Versuchsanordnung laufenden elektromagnetischen Wellen ruht. Die einzige bisher ernsthaft diskutierte Voraussetzung dafür läuft auf die Annahme hinaus, dass die in der Versuchsanordnung pendelnden Lichtwellen – aus welchem Grund auch immer – die Raumbewegung unseres Planeten mitvollziehen.

1. 2. 1. In einem nachfolgenden Text wird (im Widerspruch zum bekannten „Äthermodell“) folgende Erklärung zur Diskussion gestellt: Ein Himmelskörper „hinreichender Masse“ (z. B. unsere Erde) ruht senderseitig in den Grenzen einer Sphäre „hinreichend starker Gravitation“ gegen die von ihm abgestrahlten elektromagnetischen Wellen, weil die an der „bewegten Masse“ der Photonen angreifende Gravitation die Lichtquanten veranlasst, jenen Bewegungszustand, den sie vor Emission mit dem Sender gemein hatten, auch im Emissionsvorgang und nach Emission beizubehalten, bis die mit dem Abstandskwadrat abnehmende Gravitation sie aus dieser Mitbewegung entlässt, falls sie nicht zuvor absorbiert wurden. Zusätzlich ruht ein Himmelskörper „besonderer Masse“ (z. B. unser Zentralgestirn, die Sonne) bereits vor Absorption gegen die von außen einfallenden elektromagnetischen Wellen, weil diese Wellen an der Grenze einer empfängerseitigen „Sphäre besonders starker Gravitation“ den Bewegungszustand des gravitierenden Zentrums, an dem sie zuvor nicht teilgenommen haben, übernehmen. Unter dieser Voraussetzung ist jeder auf der Erde bewegte irdische Körper wegen seiner geringen Masse unmittelbar an seiner Grenzfläche sowohl gegen das in Emission befindliche, als auch gegen das einfallende Licht bewegt. Der Planet Erde ist zwar gegen das einfallende extraterrestrische Licht bewegt, ruht aber in den Grenzen der irdischen „senderseitigen Sphäre optischer Isotropie“ gegen die abgestrahlten Wellen. Der Radius dieser irdischen Sphäre senderseitiger optischer Isotropie ist bisher noch nicht exakt bestimmbar, könnte aber im Hinblick auf die umstrittenen Befunde der Experimente auf Mount Wilson kleiner sein als die Höhe der größeren Erhebungen über dem Meeresspiegel. Eine empfängerseitige „Sphäre lokaler Isotropie“ besitzt die Erde wegen ihrer zu geringen Masse nicht. Der Radius der senderseitigen „Sphäre optischer Isotropie“ der Sonne scheint ausweislich der telemetrischen Daten der Pioneer-Missionen der NASA bei etwa 20 AE zu liegen. Vom viel kleineren Radius der empfängerseitigen „Sphäre optischer Isotropie“ der Sonne kann bisher nur gesagt werden, dass der Erdbit mit Sicherheit noch in den Grenzen dieser Sphäre liegt. Ganz allgemein kann schon jetzt gesagt werden: Der Radius einer „senderseitigen lokalen Sphäre optischer Isotropie“ ist deutlich größer als der Radius der zum selben Körper gehörenden „empfängerseitigen Sphäre optischer Isotropie“, und beide sind um Größenordnungen kleiner als der Radius der diesen Körper umgebenden Sphäre der himmelsmechanischen Mitbewegung ruhemassebehafteter Körper. Deshalb befinden sich vermutlich alle zum Sonnensystem gehörenden Körper jenseits der Uranusbahn (darunter auch die Flugkörper der deep-space-Unternehmungen der NASA) zwar noch im himmelsmechanischen Einflussbereich der Sonne, aber bereits außerhalb der Sphären der optischen Mitbewegung mit der Sonne.

1. 2. 2. Der zwar bewegungs-, aber nicht richtungsabhängige quadratische („relativistische“) Dopplereffekt, der ausschließlich als Rotverschiebung der Spektrallinien in Erscheinung tritt, kann weder aus der Bewegung des strahlenden Teilchens gegen das abgestrahlte Licht, noch aus seiner Bewegung gegen den Beobachter erklärt werden. Das erkennt man daran, dass er sowohl vom Winkel η , den der Vektor der Teilchengeschwindigkeit mit der Normalen des abgestrahlten Lichtes einschließt, als auch von dem Winkel φ , den der Vektor der Teilchengeschwindigkeit mit der Verbindungslinie Teilchen:Beobachter einschließt, unabhängig ist. Verf. stellt die Annahme zur Diskussion, dass dieser Effekt auf die geschwindigkeitsabhängige Massenzunahme zurückzuführen und deshalb in eine Reihe mit der Einsteinschen „Gravitationsrotverschiebung“ zu stellen sei.

1. 2. 3. Vorstehend skizziertes Erklärungsmodell ist weder in der newtonischen Optik, noch in der relativistischen Theorie zulässig. Es behält die Newtonsche Absolutheit von Raum, Zeit und Gleichzeitigkeit bei, postuliert aber im Widerspruch sowohl zur newtonischen Optik, als auch zur Relativitätstheorie die *relative Konstanz* der Vakuumlichtgeschwindigkeit: die betrachtete elektromagnetische Welle pflanzt sich nur in den Grenzen der kleinsten jener „lokalen Sphären optischer Isotropie“, deren Bewegung sie mitvollzieht, richtungsunabhängig mit konstanter Vakuumgeschwindigkeit c fort. Gegen alle umfassenderen Bezugssysteme, deren Bewegungen sie außerdem noch mitvollziehen, und gegen alle Bezugssysteme, deren Bewegung sie nicht oder nicht mehr mitvollziehen, ergibt sich ihre Ge-

schwindigkeit durch vektorielle Addition zu $c-v$ und $c+v$, wenn v die Relativgeschwindigkeit des kleinsten lokalen Isotropiesystems gegen die anderen Bezugssysteme ist.

2. Eine analoge Unterscheidung von relativistischer und nicht-relativistischer Ableitung des Faktors $1/\sqrt{1-(v/c)^2}$ ist in der Mechanik zu begründen, weil dieser Faktor in die Berechnung der „bewegten Masse“ und der kinetischen Energie eingeht. Mit dem Begriff „bewegte Masse“ („dynamische Masse“) wird üblicherweise die Erfahrungstatsache beschrieben, dass der mit der Geschwindigkeit zunehmende Trägheitswiderstand eines Körpers gegen eine Änderung seines Bewegungszustandes und damit seine kinetische Energie nicht allein vom halben Quadrat der Geschwindigkeit abhängt, sondern auch vom Massenäquivalent der beschleunigenden Energie, das in der Summe mit der „Ruhemasse“ die „dynamische Masse“ des Körpers ergibt.

2. 1. Als „relativistisch“ bezeichnet Verf. jede Ableitung der Formeln für die Parameter der „bewegten Masse“, die sich auf relativistische Annahmen wie die Lorentzschen Raumzeiteffekte, die Lorentztransformationen, die „gekrümmte Raumzeit“ oder die „absolute Konstanz der Vakuumlichtgeschwindigkeit“ beruft.

2. 1. 1. Eine Bezugnahme auf die Äquivalenz von Energie und Masse zählt Verf. ausdrücklich nicht zu jenen Kriterien, nach denen eine Herleitung z. B. der Impulsmassenformel als „relativistisch“ zu bezeichnen wäre. Diese Auffassung wird hier damit begründet, dass die Äquivalenz von Energie und Masse unmittelbar aus physikalischen Erfahrungstatsachen erklärt werden kann und einer Bezugnahme auf die relativistischen Annahmen nicht bedarf: In Experimenten von Kaufmann u. a. wurde eine geschwindigkeitsabhängige Abnahme des Ladung:Massenverhältnisses hochbeschleunigter Elektronen nachgewiesen. Da die elektrische Elementarladung e eine geschwindigkeitsunabhängige Konstante ist, war dieses Versuchsergebnis nur mit einer geschwindigkeitsabhängigen Zunahme der „Masse“ (in dem vorstehend definierten Sinne) zu erklären. Außerdem zeigten Experimente, dass auch das Trägheitsverhalten von Elektronen bei einer Ablenkung durch ein *transversal* angreifendes Magnetfeld geschwindigkeitsabhängig resp. „massen“abhängig in dem Sinne ist, dass mit steigender Geschwindigkeit das Teilchen einer ablenkenden Beschleunigung durch ein transversal angreifendes Magnetfeld einen wachsenden Trägheitswiderstand entgegensetzt. (An anderer Stelle wird zu zeigen sein, dass auch der Widerstand des Teilchens gegen eine *geradlinige* Beschleunigung durch die longitudinal angreifende elektrische Spannung ein eigenes Massenäquivalent hat.) Ein anderer von den relativistischen Annahmen unabhängiger Beweis für die Äquivalenz von Energie und Masse ist der sogenannte „Massendefekt“: Schließen sich zwei Teilchen mit einer definierten Masse zu einer neuen Einheit zusammen, so wird Energie freigesetzt, wobei die Masse des neuen Teilchens kleiner ist als die Summe der Massen der Einzelteilchen. Daraus wird geschlossen, dass ein Massenäquivalent der freigesetzten Energie zur Masse der Einzelteilchen beigetragen hat, solange die Energie noch in den Einzelteilchen enthalten war. Dass die Äquivalenz von Energie und Masse ein von den relativistischen Annahmen und speziell von jeder Bewegung völlig unabhängiges Phänomen sei, erkennt man auch daran, dass die nach der vielzitierten Einsteinschen Formel berechnete Energie eines *ruhenden* Körpers m_0c^2 durch Multiplikation mit dem Faktor $1/c^2$ in das entsprechende

Massenäquivalent (sprich: in die Ruhemasse) umgerechnet werden kann: $\frac{m_0c^2}{c^2} = m_0$.

2. 1. 2. In neuerer Zeit wird von relativistischen Autoren (gelegentlich auch unter Berufung auf Einstein selber) die Behauptung vertreten, dass das Äquivalenzprinzips überhaupt nur für die Umrechnung der Ruhenergie in die Ruhemasse eines Teilchens sinnvoll und schon deshalb der Begriff der „bewegten Masse“ oder der „Impulsmasse“ unsinnig sei [2]. Verf. kann nicht beurteilen, wie weit diese Auffassung in der Relativitätstheorie selber konsensfähig ist. Für eine nicht-

relativistische Begründung einer allgemeingültigen, d. h. nicht auf Geschwindigkeiten $\lll c$ beschränkten, Physik ist nach Auffassung des Verf. gerade eine Berücksichtigung der „Relativität der Masse“ im Sinne einer Geschwindigkeitsabhängigkeit des Trägheitswiderstandes unentbehrlich. Da die relativistische Theorie auch die Newtonsche Gravitationstheorie durch das Konzept der „gekrümmten Raumzeit“ ersetzt, ist hier ausdrücklich festzuhalten, dass nach der in den vorliegenden Texten zu vertretenden Auffassung die Newtonsche Gravitationstheorie des inversen Abstandsquadrats als solche beizubehalten, aber durch die Annahme einer Geschwindigkeitsabhängigkeit der „Masse“ zu ergänzen ist.

2. 2. Als „nicht-relativistisch“ bezeichnet Verf. jede Herleitung von Formeln für die Parameter der „bewegten Masse“, die diese Erscheinung allein auf die Äquivalenz von Energie und Masse zurückführt und deshalb keine der vorstehend erwähnten relativistischen Annahmen heranzieht (vgl. Abs. 6 ff).

3. Die Frage, welche der beiden Ableitungen am ehesten mit der Erfahrung vereinbar ist, wird heute fast nur noch im naturwissenschaftlichen „Untergrund“ und oft genug ohne Nennung eines Klarnamens diskutiert. So referiert im Internetforum „Matroids Matheplanet“ ein Autor „Hans-Juergen“ eine für Physiker gedachte Herleitung der Formel der dynamischen Masse unter Berufung auf ein Lehrbuch von Franz von Krbek [2]. Diese Herleitung wird als „nicht-relativistisch“ verstanden, weil sie ohne eine Bezugnahme auf die Lorentzschen Raumzeiteffekte auskommt. In der Diskussion zu diesem Beitrag meint ein Teilnehmer „Anonymus“, diese Herleitung mit der Behauptung „Der Term $\sqrt{1-v^2/c^2}$ ist relativistisch“ als „Quatsch“ abtun zu können. Mit den obigen Darlegungen lässt sich dem gegenüber die Auffassung begründen, dass der Term $1/\sqrt{1-(v/c)^2}$ als solcher weder „relativistisch“, noch „nicht-relativistisch“ ist. Es ist nur zu prüfen, welcher Ableitungsmodus besser mit der Erfahrung zu vereinbaren ist. In diesem Zusammenhang wird zu zeigen sein, dass eine „nicht-relativistische“ Ableitung den auch von „Hans-Juergen“ angemerkten Vorzug der Einfachheit hat und darüber hinaus die relativistische Schlussfolgerung vermeidet, dass in die Berechnung der bewegungsabhängigen optischen Erscheinungen jeweils sowohl die Sendergeschwindigkeit, als auch die Beobachtergeschwindigkeit eingehen müsse. Diese Schlussfolgerung ist, wie schon sehr früh eingewendet wurde, mit der Erfahrung insbesondere der extraterrestrischen Optik der bewegten Körper nicht vereinbar.

4. Es soll zunächst für die Optik der bewegten Körper eine im Vergleich zu den krbeckschen Darlegungen mathematisch weit weniger anspruchsvolle Herleitung des Faktors $1/\sqrt{1-(v/c)^2}$ begründet werden, die zwar etwas umständlicher, dafür aber ohne Kenntnisse der höheren Mathematik nachvollziehbar und auf jeden Fall einfacher ist als

die relativistische Herleitung aus den Lorentzschen Raumzeiteffekten und ihren Einsteinschen Verallgemeinerungen:

4. 1. In der klassischen Optik führt die Annahme, dass die bewegungs- und richtungsabhängigen optischen Erscheinungen durch die Relativbewegung der Körper gegen das zwischen ihnen laufende Licht verursacht werden, auf die Notwendigkeit, bei der Berechnung solcher Effekte die Vektorsumme von Vakuumlichtgeschwindigkeit c und mechanischer Geschwindigkeit v zur Lichtgeschwindigkeit in ein Verhältnis zu setzen, wobei beide Geschwindigkeiten auf ein und dasselbe ruhende System zu beziehen sind. In diesem Fall ergibt sich für die Berechnung der nicht-quadratischen bewegungsabhängigen optischen Erscheinungen der Term $1 \pm (v/c)$ und sein

Kehrwert $1/(1 \pm v/c)$. Beide Terme lassen sich unschwer auf den Quotienten $c/c \pm v$ zurückführen.

4. 2. Dieser Berechnungsmodus ist mit der Erfahrung des *rein terrestrischen* Experiments uneingeschränkt vereinbar, solange beide Geschwindigkeiten auf das Bezugssystem Erde bezogen werden. Da aber die newtonische Optik der bewegten Körper außer dem „absoluten Raum“ kein ruhendes Bezugssystem kannte, auf welches auch die Lichtgeschwindigkeit zu beziehen gewesen wäre, war diese Berechnung im irdischen Experiment nur gerechtfertigt, wenn stillschweigend vorausgesetzt wurde, dass im Widerspruch zu dieser Auffassung auch die Erde ein solches ruhendes Bezugssystem für elektromagnetische Wellen darstellt. Chr. Doppler konnte zwar bei der Berechnung des später nach ihm benannten nicht-quadratischen *akustischen* Effektes von der Existenz eines solchen gemeinsamen Bezugssystem der beteiligten Geschwindigkeiten ausgehen, weil die Lufthülle der Erde als Träger der Schallwellen von der Erde mitgeführt wird. Bei der Anwendung dieser Formeln auf die analoge *optische* Erscheinung hingegen blieb unerklärt, warum im irdischen Experiment (wie z. B. auch bei der verkehrspolizeilichen Geschwindigkeitskontrolle) beide Geschwindigkeiten auf ein ruhendes „Bezugssystem Erde“ zu beziehen sind und nicht etwa auf das Sonnensystem oder den „absoluten Raum“.

4. 3. Die relativistische Theorie vermeidet diese Schwierigkeit und liefert mit der Hypothese der Raumzeiteffekte eine Begründung für die Existenz von lokalen, mit den Körpern mitbewegten Isotropiesystemen der Vakuumlichtfortpflanzung. Aber sie begründet diese Annahme (s. o.) nicht mit der Voraussetzung einer Mitbewegung der elektromagnetischen Wellen mit dem Bezugssystem, sondern mit dem Axiom, dass zwar jedes ruhemassebehaftete Bezugssystem gegen die Lichtwellen bewegt sein muss, dass aber diese Bewegung ohne Einfluss bleibt, wenn Sender und Beobachter relativ zu einander ruhen. Damit umgeht sie zwar die Notwendigkeit, ein System definieren zu müssen, das gegen die elektromagnetischen Wellen nicht bewegt ist. Aber gerade diese von Einstein ausdrücklich begrüßte Vereinfachung erweist sich als die Achillesferse des Lorentzschen Erklärungsmodells, weil aus den relativistischen Postulaten folgt, dass immer dann, wenn Sender und Beobachter relativ zu einander bewegt sind, ein entsprechender bewegungsabhängiger optischer Effekt gefunden wird, während immer dann, wenn Sender und Beobachter relativ zu einander ruhen, ein solcher Effekt nicht gefunden wird. Es lässt sich aber, wie weiter oben bereits erwähnt, zeigen, dass beide Behauptungen mit der Erfahrung insbesondere der Astronomie und der Raumflugnavigation nicht vereinbar sind. Die Relativbewegung Sender-Beobachter ist weder eine ausreichende, noch eine überhaupt notwendige Voraussetzung dafür, dass ein bewegungs- und richtungsabhängiger optischer Effekt beobachtet wird.

4. 4. Die *quadratischen* Formeln der Optik sind (mit Ausnahme der Formel für den quadratischen Dopplereffekt; s. o.) genau so wie die nicht-quadratischen Formeln aus der Relativbewegung der Körper gegen das zwischen ihnen laufende Licht herzuleiten, wenn die zusätzliche Voraussetzung gilt, dass die Lichtwellen in einer Versuchsanordnung, deren Bewegung sie *nicht* mitvollziehen, *pendeln*. In diesem Fall ist das Verhältnis der Vakuumlichtgeschwindigkeit zur Vektorsumme von Lichtgeschwindigkeit und mechanischer Geschwindigkeit gegeben durch $c^2/(c^2 \pm v^2)$. An einer bestimmten Stelle der Michelsonschen Laufzeitberechnungen war der Term im Nenner nicht als Summe, sondern als Differenz von Vakuumlichtgeschwindigkeit und mechanischer Geschwindigkeit anzusetzen: $c^2/(c^2 - v^2)$. Aus diesem Quotienten lässt sich formal wieder unschwer der Faktor $1/\sqrt{1-(v/c)^2}$ und sein Kehrwert $\sqrt{1-(v/c)^2}$ ableiten.

4. 4. 1. In den Voraussetzungen des Michelsonexperiments waren die beteiligten Geschwindigkeiten bereits ausdrücklich als Geschwindigkeiten gegen den „absoluten Raum“ als das in der Maxwell/Lorentzscnen Elektrodynamik singuläre Isotropiesystem der Vakuumlichtfortpflanzung definiert. Dabei ließ Maxwell als Ideengeber offen, ob dieser

„absolute Raum“ durch das Sonnensystem gegeben sei oder aber durch einen noch umfassenderen Raum, falls sich (wie bald darauf geschehen) die Annahme bestätigen sollte, dass auch die Sonne nicht der ruhende Pol des Alls ist.

4. 5. Das Versuchsergebnis zeigte bekanntlich, dass im rein terrestrischen Experiment eine aus den hier diskutierten Formeln zu berechnende und auf die Raumbewegung der Erde gegen die in der Versuchsanordnung pendelnden elektromagnetischen Wellen zurückzuführende optische Erscheinung nicht gefunden wird. (Dem steht die Tatsache gegenüber, dass die Bewegung der Erde gegen das von außen einfallende Licht sowohl eine stellare Aberration, als auch einen astronomischen Dopplereffekt verursacht.) Deshalb wurden diese Formeln in der relativistischen Theorie von Lorentz u. a. verwendet, um die unbewiesene, in der newtonischen sowie in der relativistischen Theorie aber unverzichtbare Voraussetzung einer Bewegung der Erde gegen das in einer irdischen Versuchsanordnung pendelnde Licht aus der Laufzeitberechnung wieder zu entfernen und so die Berechnung mit dem Versuchsergebnis in Einklang zu bringen. Hierzu vgl. Abschn. 1. Seither operiert die relativistische Physik, die eine galileische vektorielle Addition von mechanischer Geschwindigkeit und Vakuumlichtgeschwindigkeit grundsätzlich nicht zulässt, mit Formeln, die ohne eine solche vektorielle Addition nicht abzuleiten sind.

4. 6. Selbstredend ist eine nicht-relativistische Herleitung auch des quadratischen Terms nur möglich, wenn ohne Rückgriff auf die relativistischen Annahmen ein gemeinsames Bezugssystem definiert werden kann, dessen Bewegung weder auf die mechanischen, noch auf die optischen Vorgänge in diesem Bezugssystem einen Einfluss hat. Hierzu vgl. Abs. 1. 2. 1.

5. Nach dem vorstehend Gesagten hält Verf. es für erwiesen, dass sich der Faktor $1/\sqrt{1-(v/c)^2}$ in der Optik auch ohne die relativistischen Annahmen ableiten lässt, wenn drei Voraussetzungen zugelassen werden: a) die bewegungs- und richtungsabhängigen optischen Erscheinungen werden durch die Bewegung der Körper gegen das Licht selber und nicht durch die Relativbewegung Sender:Beobachter verursacht; b) diese Erscheinungen können quantitativ beschrieben werden, wenn die Vektorsumme aus mechanischer Geschwindigkeit und Lichtgeschwindigkeit zur Lichtgeschwindigkeit in ein Verhältnis gesetzt wird; c) es gibt Bezugssysteme wie die Erde, deren Raumbewegung keinen Einfluss auf das systeminterne optische Experiment hat und die deshalb als gemeinsames „ruhendes“ Bezugssystem für beide Arten von Geschwindigkeiten herangezogen werden können.

6. Es ist schließlich die weiter oben bereits angesprochene nicht-relativistische Ableitung des Faktors $1/\sqrt{1-(v/c)^2}$ in der Mechanik allein aus der Äquivalenz von Energie und „Masse“ zu begründen.

6. 1. Nach dem Äquivalenzprinzip lässt sich jeder Energiebetrag durch Multiplikation mit dem Faktor $1/c^2$ in ein Massenäquivalent umrechnen. Auf diesem Wege erhält man aus der Summe der Masseäquivalente der Ruhenergie m_0c^2 und der kinetischen Energie des Elektrons eV die Impuls-

$$\text{masse: } m_{imp} = \frac{m_0c^2}{c^2} + \frac{eV}{c^2} = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}}. \quad (1)$$

6. 2. Die Zulässigkeit dieser Gleichsetzung lässt sich rechnerisch, aber auch durch entsprechende algebraische Umformung beweisen: Es gilt für die kinetische Energie des Elektrons unstrittig die Gleichsetzung zweier Formeln: $eV = m_0c^2(1/\sqrt{1-(v/c)^2} - 1)$. Multipliziert man beide Seiten mit $1/c^2$, so erhält man die entsprechenden Einsteinschen Massenäquivalente der kinetischen Ener-

gie in unterschiedlichen Ausdrücken: $eV/c^2 = m_0c^2(1/\sqrt{1-(v/c)^2} - 1)/c^2$. Nach Kürzung und Auflösung der Klammer auf der rechten Seite folgt $eV/c^2 = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}} - m_0$ und somit wegen $m_o = \frac{m_0c^2}{c^2}$ nach „Umstellung“ wieder Gleichung (1).

6. 3. Wie diese Ableitung zeigt, kann die Formel der Impulsmasse ganz ohne Bezugnahme auf Annahmen, die nur in der Relativistik zulässig sind, allein aus der Äquivalenz von Energie und Masse abgeleitet werden, von der weiter oben gezeigt wurde, dass sie ihrerseits einer Begründung durch relativistische Voraussetzungen nicht bedarf. In dieser Ableitung sind e , m_o und c als Naturkonstanten und die Spannung V als in das Experiment eingeführte Größe von relativistischen Effekten ganz unabhängig. Vielleicht wird man einwenden, dass die in dieser Formel enthaltene Geschwindigkeit nur mit Hilfe der Raumzeiteffekte oder einer Lorentztransformation erklärt werden kann. Es lässt sich aber zeigen, dass außer in der Formel für die Impulsmasse auch in den Formeln zur Berechnung der übrigen in diesem Zusammenhang vorkommenden Variablen (als da sind die Spannung V und die mit ihr korrelierte Elektronengeschwindigkeit v sowie die kinetische Energie) der Faktor $1/\sqrt{1-(v/c)^2}$ auf den Quotienten $c^2/(c^2 - v^2)$ zurückgeführt werden kann.

6. 4. Die Allgegenwärtigkeit des Quotienten $c^2/(c^2 - v^2)$ in den Berechnungen der „Massen“parameter deutet Verf. an anderer Stelle als Ausdruck eines zwingenden Zusammenhangs zwischen der geschwindigkeitsabhängigen Zunahme an „Masse“, dem Einsteinschen Satz von der Vakuumlichtgeschwindigkeit als Grenzgeschwindigkeit und einer spezifischen Realisierung des Prinzips der Stetigen Teilung: Nur wenn mit zunehmender Geschwindigkeit ein immer größerer Teil der zugeführten Energie nicht in Geschwindigkeit, sondern in Trägheitswiderstand gegen eine weitere Beschleunigung umgewandelt wird, bleibt auch gewährleistet, dass bei jeder Geschwindigkeitserhöhung eine Restbetrag $c - v$ und damit die Möglichkeit einer weiteren Teilung gegeben ist. Daraus folgt aber, dass das beschleunigte Teilchen *im ruhenden Laborsystem* die Vakuumlichtgeschwindigkeit weder erreichen noch gar übersteigen kann.

6. 4. 1. Es steht auf einem anderen Blatt, dass nach der in den vorliegenden Texten zu vertretenden Auffassung (vgl. Abs. 1. 2. 3.) die im lokalen Isotropiesystem gemessene Vakuumlichtgeschwindigkeit c vektoriell zur Geschwindigkeit dieses Bezugssystems gegen andere Körper zu addieren ist, wenn z. B. die Laufzeit interpretiert werden soll, die ein von der Erde zu einem Raumflugkörper in den Außenbezirken des Sonnensystems und in der Galaxis gesandtes Steuersignal benötigt. Hierzu ausführlicher in einem nachfolgenden Abschnitt über die sogenannte „Pionier-Anomalie“.

6. 5. Nach der hier zur Diskussion gestellten Auffassung stellt sich die geschwindigkeitsabhängige „Massen“zunahme als ein Beleg für den Satz von der Erhaltung der Energie dar: Der Zuwachs an Trägheitswiderstand erklärt den Verbleib jenes Teiles der für die Beschleunigung des Teilchens verbrauchten Spannung V , der nicht in Geschwindigkeit, sondern in Trägheitswiderstand umgewandelt wird.

6. 5. 1. In diesem Zusammenhang liefert die Berechnung der kinetischen Energie hochbeschleunigter Teilchen mit Hilfe der bisher bei diesen Geschwindigkeiten nicht zulässigen klassischen Formel $E_{kin} = mv^2/2$ aufschlussreiche Hinweise. Es lässt sich zeigen, dass sich die kinetische Energie bei beliebigen Geschwindigkeiten $< c$ dann (und nur dann!) aus dieser Formel berechnen lässt, wenn die anzusetzende Masse außer der Impulsmasse auch das Massenäquivalent jenes Trägheitswiderstandes enthält, den das Teilchen einer laufenden *geradlinigen* Beschleunigung durch die *longitudinal* angreifende elektrische Spannung entgegensetzt. In einem nachfolgenden Abschnitt wird auf einen Zusammenhang dieses bisher nicht beachteten Trägheitswiderstandes mit dem Goldenen Schnitt hingewiesen.

7. Verf. meint, mit dem vorstehend Gesagten gezeigt zu haben, dass sich die in der modernen Physik unverzichtbaren Formeln für die Berechnung bewegungsabhängiger Erscheinungen sehr wohl auch ohne Bezugnahme auf die relativistischen Postulate ableiten lassen.

Literatur:

[1] [Caspar], Hans-Juergen: Eine nicht-relativistische Herleitung der dynamischen Massenformel. Quelle: Internetforum „Matroids Matheplanet“. Erstellt: 01.02.2005

[2] vgl. z. B. Großmann, Siegfried: Ist Einsteins berühmte Formel korrekt? Internetquelle: Welt der Physik . Erstellt: 22.02.2012

23.01.2013

Oskar Törne

Der vorliegende Text stellt die Neufassung einer früheren Version dieses Abschnittes dar.