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

.

.

(5) Nicht-relativistische Begründung der Relativität der Trägheit
Teil 2: Zur Neudefinition der „longitudinalen Masse“

Zusammenfassung: Es wird die Annahme begründet, dass es neben der transversalen „Impulsmasse“ eine mit der Lorentzschen „longitudinalen Masse“ nicht identische aber ebenfalls longitudinale „kinetische Gesamtmasse“ gibt, mit der sich die kinetische Energie aus der klassischen Formel $E_{kin} = mv^2/2$ bei beliebiger Geschwindigkeit in Übereinstimmung mit der Erfahrung berechnen lässt. Es wird für diese besondere „bewegte Masse“ die Formel $m_{\text{int}} = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}} + \frac{eV}{c^2} \cdot \frac{eV}{v^2} \cdot \frac{\sqrt{1-(v/c)^2}}{m_0}$ und u. a. der auch im makroskopischen Bereich

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

.
.

(5) Nicht-relativistische Begründung der Relativität der Trägheit
Teil 2: Zur Neudefinition einer „longitudinalen Masse“

Zusammenfassung: Es wird die Annahme begründet, dass es neben der transversalen „Impulsmasse“ eine mit der Lorentzschen „longitudinalen Masse“ nicht identische aber ebenfalls longitudinale „kinetische Gesamtmasse“ gibt, mit der sich die kinetische Energie aus der klassischen Formel $E_{kin} = mv^2/2$ bei beliebiger Geschwindigkeit in Übereinstimmung mit der Erfahrung berechnen lässt. Es wird für diese besondere „bewegte Masse“ die Formel

$$m_{int} = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}} + \frac{eV}{c^2} \cdot \frac{eV}{v^2} \cdot \frac{\sqrt{1-(v/c)^2}}{m_0}$$

und u. a. der auch im makroskopischen Bereich anwendbare Ausdruck $m_{int} = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}} 2\frac{c^2}{v^2}(1-\sqrt{1-v^2/c^2})$ zur Diskussion gestellt.

1. Im ersten Teil dieses Abschnittes wurde gezeigt, dass die „relativistische“ Formel der kinetischen Energie $E_{kin} = m_0 c^2 (\frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} - 1)$ **(1)**

einer Begründung mit Hilfe der relativistischen Raumzeitannahmen nicht bedarf und dass die kinetische Energie mit diesen Annahmen auch nicht erklärt werden kann. Der Formel (1) ist im vorliegenden Text die klassische Formel $E_{kin} = mv^2/2$ **(2)**
gegenüberzustellen. (1) hat den offensichtlichen Vorzug, dass diese Formel die kinetische Energie bei beliebiger Geschwindigkeit als Differenz der unstrittigen Größen „Energie der Impulsmasse“ und „Ruheenergie“ liefert, während die klassische Formel (2) die kinetische Energie mit keiner der bisher bekannten „bewegten Massen“ bei beliebiger Geschwindigkeit korrekt berechnet: Mit der unveränderlichen Masse Newtons und mit der Impulsmasse liefert (2) die kinetische Energie mit einem zu kleinen, mit der von Lorentz u. a. in die Physik eingeführten „longitudinalen Masse“ nach der Formel $m_{long} = \frac{m_0}{(\sqrt{1-v^2/c^2})^3}$ **(3)**

aber mit einem zu großen Betrag. Da die Fehlerhaftigkeit dieser Berechnungen erst bei Geschwindigkeiten nicht mehr $<<< c$ deutlich zu Tage tritt, wird die Anwendbarkeit von (2) üblicherweise auf Geschwindigkeiten $<<< c$ beschränkt.

1. 1. In relativistischen Deutungen wird der in Formel (1) enthaltene Term $\frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-(v/c)^2}}$ üblicherweise nicht „Energie der Impulsmasse“, sondern „Gesamtenergie“ genannt, da die neuere relativistische Theorie eine „bewegte Gesamtmasse“, in der die Impulsmasse nur als Teilbetrag enthalten ist, nicht kennt.

1. 2. Die Einschränkung, dass die kinetische Energie bei Geschwindigkeiten nicht mehr $<<< c$ aus der klassischen Formel (2) unter Ansetzung der bisher in der Physik diskutierten „bewegten Massen“ nicht korrekt berechnet werden kann, ist ausdrücklich dahingehend zu präzisieren, dass sich die Unzulänglichkeit dieser Berechnung erst bei diesen Geschwindigkeiten deutlich zu erkennen gibt, während sie bei niedrigeren Geschwindigkeiten zwar durchaus auch gegeben, aber erst an Nachkommastellen ablesbar ist, die üblicherweise in praktischen Berechnungen nicht berücksichtigt werden. Mit

a
nwendbare Ausdruck $m_{\text{int}} = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}} 2\frac{c^2}{v^2}(1-\sqrt{1-v^2/c^2})$ zur Diskussion gestellt.

1. Im ersten Teil dieses Abschnittes wurde gezeigt, dass die „relativistische“ Formel der kinetischen Energie $E_{kin} = m_0 c^2 (\frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} - 1)$ **(1)**

einer Begründung mit Hilfe der relativistischen Raumzeitannahmen nicht bedarf und dass die kinetische Energie mit diesen Annahmen auch nicht erklärt werden kann. Der Formel (1) ist im vorliegenden Text die klassische Formel $E_{kin} = mv^2/2$ **(2)**

gegenüberzustellen. (1) hat den offensichtlichen Vorzug, dass diese Formel die kinetische Energie bei beliebiger Geschwindigkeit als Differenz der unstrittigen Größen „Energie der Impulsmasse“ und „Ruheenergie“ liefert, während die klassische Formel (2) die kinetische Energie mit keiner der bisher bekannten „bewegten Massen“ bei beliebiger Geschwindigkeit korrekt berechnet: Mit der unveränderlichen Masse Newtons und mit der Impulsmasse liefert (2) die kinetische Energie mit einem zu kleinen, mit der von Lorentz u. a. in die Physik eingeführten „longitudinalen Masse“ nach der Formel $m_{long} = \frac{m_0}{(\sqrt{1-v^2/c^2})^3}$ **(3)**

aber mit einem zu großen Betrag. Da die Fehlerhaftigkeit dieser Berechnungen erst bei Geschwindigkeiten nicht mehr $<<< c$ deutlich zu Tage tritt, wird die Anwendbarkeit von (2) üblicherweise auf Geschwindigkeiten $<<< c$ beschränkt.

1. 1. In relativistischen Deutungen wird der in Formel (1) enthaltene Term $\frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-(v/c)^2}}$ üblicherweise nicht „Energie der Impulsmasse“, sondern „Gesamtenergie“ genannt, da die neuere relativistische Theorie eine „bewegte Gesamtmasse“, in der die Impulsmasse nur als Teilbetrag enthalten ist, nicht kennt.

1. 2. Die Einschränkung, dass die kinetische Energie bei Geschwindigkeiten nicht mehr $<<< c$ aus der klassischen Formel (2) unter Ansetzung der bisher in der Physik diskutierten „bewegten Massen“ nicht korrekt berechnet werden kann, ist ausdrücklich dahingehend zu präzisieren, dass sich die Unzulänglichkeit dieser Berechnung erst bei diesen Geschwindigkeiten deutlich zu erkennen gibt, während sie bei niedrigeren Geschwindigkeiten zwar durchaus auch gegeben, aber erst an Nachkommastellen ablesbar ist, die üblicherweise in praktischen Berechnungen nicht berücksichtigt werden. Mit dieser Klarstellung soll der Auffassung widersprochen werden, dass es „relativistische Effekte“ gibt, die überhaupt erst bei „relativistischen Geschwindigkeiten“ auftreten.

2. Im vorliegenden Text soll gezeigt werden, dass (2) allgemeingültig wird, wenn die einzusetzende Masse als „kinetische Gesamtmasse“ (s. u.) definiert wird. Der Nachweis, dass dieser Berechnungsansatz mehr ist als eine (wegen eines im vierten Teil dieses Abschnittes zu beschreibenden Zusammenhangs mit dem Goldenen Schnitt) interessante Zahlenspielerei, wäre ein weiterer Baustein für die in den vorliegenden Texten zur Diskussion gestellte allgemeingültige Physik ohne relativistische Raumzeitannahmen.

2. 1. Eine Formel wird hier als „allgemeingültig“ bezeichnet, wenn sie eine physikalische Größe bei beliebiger Geschwindigkeit $v < c$ korrekt berechnet. Dieser Einschränkung liegt die starke Lesart des Einsteinschen Satzes von der Vakuumlichtgeschwindigkeit als Grenzgeschwindigkeit zugrunde, nach der ein ruhemassebehafteter Körper die Geschwindigkeit c nicht nur nicht überschreiten, sondern auch nicht erreichen kann. Diese auch mit den Formeln des hier zu vertretenden Erklärungsmodells begründbare Präzisierung steht im Widerspruch zu der In der Literatur zu findenden schwachen Lesart, nach der die höchste Geschwindigkeit, die ein ruhemassebehafteter Körper tatsächlich erreichen kann, die Vakuumlichtgeschwindigkeit ist [1].

2. 2. Die Geltung des Satzes von der Grenzgeschwindigkeit wird im vorliegenden Text jedoch ausdrücklich auf jene Geschwindigkeiten beschränkt, die auf ein ruhendes Bezugssystem bezogen wer-

den. Die Relativgeschwindigkeiten zweier Körper, die mit Hilfe einer (in der Relativitätstheorie nicht zulässigen) galileischen vektoriellen Addition in einer resultierenden Relativgeschwindigkeit zusammengefasst werden, fallen nach der hier zu vertretenden Auffassung im Widerspruch zu den Lorentzschen Additionstheoremen genau so wenig in den Geltungsbereich des Satzes von der Grenzgeschwindigkeit wie die Relativgeschwindigkeit $c \pm v$.

3. Die Überschrift des fünften Abschnittes trägt den berechtigten Einwänden gegen den Begriff „bewegte Masse“ insofern Rechnung, als nicht von der „Relativität der Masse“, sondern von der „Relativität der Trägheit“ die Rede ist. Verf. hat aber schon in Abs. 1. 1. des ersten Teiles dieses Abschnittes begründet, warum er trotzdem an dem eingeführten und bequemen Terminus „bewegte Masse“ festhält. Dieser Terminus ist nicht mehr und nicht weniger uneindeutig als der Begriff der „Ruhemasse“ auch, da der Begriff „Masse“ („mass“), der bei Newton ausschließlich die Menge der in einem Körper enthaltenen stofflichen Substanz (Materie) bezeichnete, heute in aller Regel eher auf die Eigenschaft des ruhemassebehafteten Körpers zielt, einer Änderung seines Bewegungszustandes einen Trägheitswiderstand entgegenzusetzen [2]. Der Begriff der „bewegten Masse“ als Synonym für den Trägheitswiderstand des bewegten Köpers ist in den vorliegenden Texten auch deshalb unverzichtbar, weil den ruhemasselosen Photonen eine „bewegte Masse“ zugeschrieben werden muss, an der Gravitation angreifen kann. Hierzu vgl. die Darlegungen im vorangehenden Abschnitt. Werden beide Bedeutungen des Begriffes „Masse“ zugelassen, so können folgende Annahmen formuliert werden:

3. 1. Die „Ruhemasse“, verstanden als Trägheitswiderstand des ruhenden Körpers, hängt (wenn das Massenäquivalent der in der Materie enthaltenen Bindungsenergie vernachlässigt wird) allein von der Menge der in dem Körper enthaltenen stofflichen Substanz (Materie) ab.

3. 2. Die „bewegte Masse“, verstanden als Trägheitswiderstand des bewegten Körpers, setzt sich im Falle der ruhemassebehafteten Körper zusammen aus der unveränderlichen („invarianten“) „Ruhemasse“ und zwei bei gleicher Geschwindigkeit quantitativ und qualitativ verschiedenen Trägheitswiderständen: Der Trägheitswiderstand gegen eine Beschleunigung durch eine transversal angreifende Kraft gibt sich in der „Impulsmasse“ zu erkennen, die deswegen gelegentlich auch „transversale Masse“ genannt wird. Der etwas größere Trägheitswiderstand gegen eine Beschleunigung durch eine longitudinal beschleunigende Kraft gibt sich in der kinetischen Energie zu erkennen. Von diesen beiden „bewegten Massen“ hat bisher nur die kleinere Impulsmasse in der geltenden Theorie einen festen Platz. Die etwas größere (wie immer berechnete) bewegte Masse, die analog als „longitudinale Masse“ bezeichnet wird, wird heute eher selten erwähnt. Der Betrag dieser „longitudinalen Masse“ soll im vorliegenden Text unter dem Namen „kinetische Gesamtmasse“ neu und zwar so definiert werden, dass mit ihr die kinetische Energie auch aus der klassischen Formel (2) bei beliebiger Geschwindigkeit berechnet werden kann.

3. 2. 1. Nach den im Internet publizierten oder zitierten Texten zu urteilen, wird die „longitudinale Masse“ in der Gegenüberstellung zur „transversalen“ Impulsmasse gegenwärtig am häufigsten noch in der Festkörperphysik im Zusammenhang mit Halbleiterproblemen erwähnt. Verf. kann bisher nicht sagen, in welchem Verhältnis die in diesen Texten genannte Definition der „longitudinalen Masse“ zur Lorentzschen Definition der „longitudinalen Masse“ resp. zu der weiter unten zur Diskussion zu stellenden Definition einer longitudinalen „kinetischen Gesamtmasse“ steht.

3. 3. Die bisher formulierten Annahmen stehen im offensichtlichen Widerspruch zu der in letzter Zeit gerade von relativistischer Seite und unter Berufung auf Einstein

selber verstärkt vorgetragenen Kritik am Begriff der „bewegten Masse“. Nach der hier zu vertretenden Auffassung ist es jedoch nicht nur nicht zweckmäßig, den Begriff der „bewegten Masse“ aufzugeben, sondern im Gegenteil erforderlich, ausdrücklich zur ursprünglichen Annahme zweier unterschiedlicher „bewegter Massen“ zurückzukehren, von denen die kleinere Impulsmasse in der größeren, neu zu definierenden longitudinalen Masse enthalten ist.

3. 4. Die Beibehaltung des Begriffs „bewegte Masse“ wird auch dadurch nahegelegt, dass für die Berechnung von Parametern des bewegten Körpers „Massenäquivalente“ von Energiebeträgen und „Energieäquivalente“ von Massenbetragen gebraucht werden, sobald die ungleichartigen Größen „Energie“ und „Masse“ in einer „Strichrechnung“ zusammengeführt werden. Durch die Umrechnung eines Energiebetrages in ein „Massenäquivalent“ resp. eines Massenbetrages in ein „Energieäquivalent“ werden ungleichartige Größen, die anders nicht addiert werden können, gleichartig gemacht. Ein „Massenäquivalent“ wird durch Multiplikation eines Energiebetrages mit dem Faktor $1/c^2$ gewonnen. Umgekehrt ergibt sich das Energieäquivalent eines Massenbetrages durch Multiplikation des Massenbetrages mit dem Faktor c^2. Die Umrechnung eines Energiebetrages in sein Massenäquivalent bedeutet selbstredend nicht, dass Bewegungsenergie physikalisch in Materie „umgewandelt“ wird.

3. 5. Das unter der Überschrift „Äquivalenz von Energie und Masse“ zu diskutierende Problem der Massen- und Energieäquivalente spielt im hier betrachteten Zusammenhang deswegen eine besondere Rolle, weil gezeigt werden soll, dass zwar einerseits die kinetische Energie, wenn sie aus (2) berechnet wird, aus einer Punktrechnung als Produkt der ungleichartigen Größen „Masse“ und „halbes Geschwindigkeitsquadrat“ hervorgeht, dass aber andererseits die in (2) einzusetzende „bewegte Masse“ in einer Strichrechnung als Summe der unveränderlichen Ruhemasse und zweier Massenäquivalente von Energiebeträgen zu ermitteln ist (vgl. Formel (6) in Abs. 5. 4.).

3. 5. 1. Die in der berühmten Einsteinschen Formel $E = mc^2$ zum Ausdruck kommende umfassendere Äquivalenz von Energie und Masse, mit der ausgesagt wird, dass die Ruhemasse einen Energiebetrag enthält, der bei Kernspaltung oder Kernfusion zum Teil und bei „Annihilation“ zur Gänze freigesetzt werden kann, steht hier genau so wenig zur Diskussion wie der Massenverlust durch Emission von elektromagnetischer Strahlung.

3. 6. Der Grund für die in der Existenz zweier unterschiedlicher „bewegter Massen“ (sprich: Trägheitswiderstände) in Erscheinung tretende Existenz zweier unterschiedlicher Massenäquivalente der Bewegungsenergie ist schon sehr früh erkannt worden: Es ist leichter, einen bewegten Körper aus seiner Bahn zu werfen, als ihn zum Stillstand zu bringen. Mit anderen Worten: Ein bewegter Körper setzt bei gleicher „Ruhemasse“ und gleicher Geschwindigkeit einer transversal beschleunigenden Kraft einen geringeren Trägheitswiderstand entgegen als einer longitudinal beschleunigenden Kraft. Diese durch jede Alltagserfahrung (ein anschauliches Beispiel ist der „Köpfer“ beim Fußball!) bestätigte Annahme hat seinerzeit Poincaré deutlich ausgesprochen [3].

3. 7. Nach den Merkmalen „transversal“ und „longitudinal“ sind jedoch nur die beiden „bewegten Massen“ (sprich: Trägheitswiderstände) zu unterscheiden, nicht aber die von diesen Trägheitswiderständen abhängenden Erscheinungen wie der Impuls und die kinetische Energie. Die „transversale Masse“ des Elektrons z. B. ist durch das Maß der Ablenkbarkeit durch ein transversal angreifendes Magnetfeld oder elek-

trisches Feld gegeben, die „longitudinale Masse“ durch den Trägheitswiderstand, den das Elektron einer longitudinal (positiv oder negativ) beschleunigenden Kraft entgegensetzt. Es ist aber der Impuls eines ruhemassebehafteten Körpers, der von der „transversalen“ Impulsmasse abhängt, genau so eine *longitudinale* Vektorgröße [4] wie die kinetische Energie, die nach der hier zu vertretenden Auffassung von der longitudinalen Masse abhängt.

3. 8. Es bleibt aber zu fragen, warum in die Berechnung dieser beiden Erscheinungen nicht nur unterschiedliche Anteile der Geschwindigkeit des bewegten Körpers eingehen, sondern auch unterschiedliche „bewegte Massen“:

3. 8. 1. Die in die Impulsmassenformel einzusetzende „bewegte Masse“ ist durch $m_{imp} = \frac{m_0}{(\sqrt{1-v^2/c^2})^3} = m_0 + \frac{eV}{c^2}$ gegeben und stellt sich auf diese Weise als Summe der Ruhemasse und des Massenäquivalents der kinetischen Energie dar, während die in (2) einzusetzende größere bewegte Masse, von der die kinetische Energie abhängt, noch einen dritten Summanden enthält (s. u.). Eine sehr allgemeine Antwort auf die Frage, warum Impuls und kinetische Energie, obwohl beide longitudinal in Erscheinung tretende Größen sind, bei gleicher Geschwindigkeit nicht nur von unterschiedlichen Anteilen dieser Geschwindigkeit, sondern auch von unterschiedlichen „bewegten Massen“ abhängen, lautet: Der Impuls ist nur ein kleiner Teil der Bewegungsenergie, der bei einem elastischen Stoß an den gestoßenen Körper übertragen wird. Der verbleibende größere Teil der von der Bewegung abhängenden Komponente der „bewegten Masse“ wird erst dann verbraucht, wenn der stoßende Körper bei einem unelastischen Stoß zum Stillstand gebracht und dabei seine gesamte verbliebene kinetische Energie in andere Energieformen (Verformung; Erwärmung) umgewandelt wird.

3. 8. 2. Zur Frage, warum die geschwindigkeitsabhängige Abnahme der *spezifischen Ladung* der beschleunigten Elektronen nur als Maß der Ablenkbarkeit der Elektronen durch ein transversal angreifendes Kraftfeld berechnet wird, nicht aber als Maß der longitudinalen Beschleunigung, hat Verf. bisher in der Literatur keine Antwort gefunden. An sich wäre anzunehmen, dass die spezifische Ladung des Elektrons nicht nur der Ruhemasse und dem Trägheitswiderstand gegen eine transversale Beschleunigung umgekehrt proportional ist, sondern auch dem Trägheitswiderstand, den das Elektron einer Änderung seines Bewegungszustandes durch eine longitudinal angreifende Kraft entgegen setzt. Bisher hat Verf. allerdings auch in Texten, in denen von der Bestimmung der spezifischen Ladung im „magnetischen Längsfeld“ die Rede ist, keine eindeutigen Daten gefunden, aus denen die Abnahme der spezifischen Ladung für den Fall abzulesen wäre, dass das Elektron *nicht* abgelenkt, sondern nur longitudinal beschleunigt wird.

4. Bevor weiter unten eine Formel für jene longitudinale „kinetische Gesamtmasse“ zur Diskussion gestellt wird, mit der sich - anders als mit der nach (3) berechneten Lorentzschen „longitudinalen Masse“ - die kinetische Energie aus (2) bei beliebiger Geschwindigkeit korrekt berechnen lässt, scheint es lohnend, noch einmal einen Blick auf die (mangelnde) Erklärungsmächtigkeit der Lorentzschen „longitudinalen Masse“ zu werfen.

4. 1. Seit der Entdeckung, dass die in die Berechnung der kinetischen Energie eingehende Masse m nicht mit der unveränderlichen Masse Newtons identisch sein

kann, stand die Physik vor der Frage, wie jene „bewegte Masse" zu definieren sei, mit der sich die kinetische Energie aus (2) korrekt berechnen ließe. Da sich zeigen ließ, dass die kinetische Energie aus (2) auch mit der in Elektronenexperimenten entdeckten größeren Impulsmasse mit einem zu kleinen Betrag berechnet wird, war nach einer noch etwas größeren und speziell in Bewegungsrichtung wirksamen bewegten Masse zu suchen. Es lag nahe, zunächst an die von Lorentz und anderen berechnete „longitudinale Masse" die Erwartung zu knüpfen, dass sich mit ihr die kinetische Energie aus der klassischen Formel (2) in Übereinstimmung mit der Erfahrung ergibt.

4. 2. Von dieser Erwartung ist ursprünglich auch Einstein ausgegangen. In seinem Aufsatz „Ueber eine Methode zur Bestimmung des Verhaeltnisses der transversalen und longitudinalen Masse des Elektrons", *Annalen der Physik,* 21 (1906) bezeichnete er die „longitudinale Masse" ausdrücklich als jene Masse, „[…] welche durch die Gleichung $Kinetische\,Energie = \mu_l v^2/2$ definiert ist […..]" (zitiert nach dem im Internet durch „Echo online" publizierten Text). Die Formel für die „longitudinale Masse" selber hatte Einstein bereits in seiner Schrift „Zur Elektrodynamik bewegter Körper" mit $Longitudinale\ Masse = \frac{\mu}{(\sqrt{1-(v/V)^2})^3}$ angegeben, was in der damals üblichen Schreibweise der Formel (3) entspricht. Es ließ sich aber zeigen, dass auch mit dieser longitudinalen Masse die kinetische Energie aus (2) nicht bei beliebiger Geschwindigkeit korrekt berechnet werden kann.

4. 3. Bei der Ableitung dieser Formel hatte offensichtlich keineswegs die Überlegung zur Debatte gestanden, wie die „longitudinale Masse" von vornherein so zu definieren sei, dass mit ihr die kinetische Energie aus (2) korrekt berechnet und daraus ein heuristisches Programm für ein tieferes Verständnis der kinetischen Energie abgeleitet werden kann. Vielmehr waren Lorentz, Bucherer u. a. von der die damalige Diskussion beherrschenden Vorgabe ausgegangen, dass Elektronen sich wie jeder bewegte Körper infolge der Lorentzschen Raumzeiteffekte verformen und dass die Zeit im lokalen raumzeitlichen Bezugssystem des Elektrons sich ausdehnt. Lorentz setzte eine derartige Verformung nur in Bewegungsrichtung voraus, Bucherer nahm dem gegenüber auch eine transversale Verformung an. In beiden Fällen geht ein Verformungsparameter in die Berechnung der „longitudinalen Masse" ein. Akzeptiert wurde schließlich die Lorentzsche Formel. Die genaue Ableitung dieser Formel muss hier nicht referiert werden, da ihre unzureichende Erklärungsmächtigkeit bei der Berechnung der kinetischen Energie unstrittig ist.

4. 4. Da auch im Zusammenhang mit der Berechnung der kinetischen Energie gelegentlich noch immer von der Lorentzschen „longitudinalen Masse" die Rede ist, soll hier die Unzulänglichkeit dieser Berechnung am konkreten Beispiel demonstriert werden: Für den Fall, dass die durchlaufene Spannung $U = m_0 c^2/e$ und die zugehörige Elektronengeschwindigkeit $v = \sqrt{3/4}\,c$ sei, erhält man aus den kanonischen Formeln $E_{kin} = m_0 c^2 (\frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} - 1)$ und $E_{kin} = eV$ die kinetische Energie gleichlautend mit dem Betrag $E_{kin} = 8{,}187112 \cdot 10^{-14} J$, wobei die in diesem Betrag enthaltene Impulsmasse zwei Elektronenruhemassen entspricht, weil in (1) die Wurzel unter dem Bruchstrich den Betrag $0{,}5$ hat. Berechnet man hingegen die kinetische Energie mit Hilfe der

Formel (2) unter Ansetzung der Lorentzschen „longitudinalen Masse“, so erhält man, weil nach (3) unter dem Bruchstrich die dritte Potenz der Wurzel und damit im betrachteten Fall $0{,}5^3 = 0{,}125$ anzusetzen ist, für die einzusetzende longitudinale Masse den Betrag $m_l = 7{,}2875118 \cdot 10^{-30}\ kg$ (das sind 8 Elektronenruhemassen). Mit dem 8-fachen der Elektronenruhemasse ergibt sich die kinetische Energie aus (2) mit dem zu großen Betrag $E_{kin} = 2{,}4561334 \cdot 10^{-13}\ J$.

4. 4. 1. Dieser Berechnung liegen noch die Literaturwerte $m_e = 9{,}1093897 \cdot 10^{-31}\ kg$ und $e = 1{,}6021765 \cdot 10^{-19}\ C$ zugrunden, die seither geringfügig präzisiert wurden.

4. 5. Neben der Vorfestlegung auf die Lorentzschen Raumzeiteffekte hat vermutlich die Existenz der unstrittigen Formel $E_{kin} = eV$ und die Entwicklung der ebenfalls ohne Einschränkung gültigen Formel (1) dazu beigetragen, dass nach dem Nachweis der mangelnden Erklärungsmächtigkeit der Lorentzschen longitudinalen Masse nicht nur auf eine Neudefinition der „longitudinalen Masse“ verzichtet, sondern gleichzeitig auch die klassische Formel (2) ihrer Allgemeingültigkeit beraubt wurde. Nicht nur die relativistische Theorie, sondern auch die klassische Theorie „nach Michelson“ beschränkt heute die Geltung der Formel $E_{kin} = mv^2/2$ auf Geschwindigkeiten $<<< c$. In der relativistischen Theorie wird diese Einschränkung damit begründet, dass bei „relativistischen Geschwindigkeiten“ „relativistische Phänomene“ auftreten, die mit den Formeln der klassischen Physik grundsätzlich nicht beschrieben werden können. Eine nachvollziehbare *klassische* Begründung für den Verzicht auf die Formel $E_{kin} = mv^2/2$, die mehr sagen würde, als dass mit den bisher bekannten Massengrößen die kinetische Energie bei Geschwindigkeiten nicht mehr $<<< c$ nicht exakt berechnet werden kann, kennt Verf. nicht. Lenard behauptete in diesem Zusammenhang: „Die gewöhnliche Angabe $mv^2/2$ für kinetische Energie […] ist nicht Definition dieser Energieform, sondern nur eine für nicht zu große Geschwindigkeiten geltende Rechenformel […].“ (Deutsche Physik, 3. Aufl, 1943, IV, 264). Wann eine Formel die mit ihr berechnete physikalische Größe definiert, sagt Lenard in diesem Zusammenhang nicht. Seine Begründung für die „Degradierung“ der klassischen Formel der kinetischen Energie kann schon deswegen nicht überzeugen, weil er (wie andere auch) es unternommen hat, in der Abwesenheit einer exakten Formel für die in (2) einzusetzende Masse diese Größe durch eine Reihenentwicklung als Näherungswert zu bestimmen (a. a. O., S. 291). In diesem Fall sollte man aber erwarten, dass auch eine exakte Definition dieser Masse mit Hilfe einer geeigneten Formel im Prinzip durchaus möglich sein müsste.

5. Verf. leitet aus dem bisher Gesagten die Annahme ab, dass vor allem aus theoretischen Gründen die Frage zu prüfen wäre, ob nicht doch bei beliebiger Geschwindigkeit eine mit der Erfahrung übereinstimmende Berechnung der kinetischen Energie aus der klassischen Formel $E_{kin} = mv^2/2$ möglich ist, wenn die in diese Formel einzusetzende Masse entsprechend definiert wird.

5. 1. Die einfachste Formel jener neudefinierten longitudinalen Masse ergibt sich, wenn (2) nach m aufgelöst und für E_{kin} der Term eV eingesetzt wird. Wird m mit dem Index $_{l\,neu}$ (für „neu zu definierende longitudinale Masse“! versehen, so erhält man $m_{l\,neu} = 2eV/v^2$ **(4)**

und in geänderter graphischer Anordnung $m_{l\,neu} = eV\frac{2}{v^2}$. **(4a)**

An (4a) erkennt man, dass mit dieser Formel nichts anderes bewirkt wird, als dass aus dem kanonischen Term eV durch Multiplikation mit dem Kehrwert des halben Geschwindigkeitsquadrats die in eV enthaltene Geschwindigkeitskomponente $v^2/2$ herausgerechnet wird, so dass als Rest der in der kinetischen Energie enthaltene Massenbetrag übrig bleibt. Dasselbe Verfahren kann auch auf die „relativistische" Formel der kinetischen Energie angewendet werden, so dass sich mit

$$m_{l\,neu} = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}(1-\sqrt{1-v^2/c^2})\frac{2}{v^2} \qquad \textbf{(4b)}$$

eine auch im makroskopischen Bereich anwendbare Formel für
die neu definierte longitudinale Masse ergibt. Die Erklärungsmächtigkeit dieser Formeln lässt sich am weiter oben bereits diskutierten Beispiel überprüfen. Berechnet man die einzusetzende longitudinale Masse nach (4) oder (4b), so erhält man mit den vorausgesetzten Werten für V und v die longitudinale Masse zu $m_l = 2{,}4291706 \cdot 10^{-30}\ kg$. Mit dieser Masse liefert (2), wie nicht anders zu erwarten, die kinetische Energie in Übereinstimmung mit dem aus den kanonischen Formeln berechneten Wert, da sich wegen $m_{l\,neu} = eV\frac{2}{v^2}$ schließlich $E_{kin} = \frac{2eV}{v^2}\cdot\frac{v^2}{2} = eV$ ergibt.

5. 2. Man kann vermuten, dass von dieser, zugegeben, eher schlichten Überlegung auch deshalb in der theoretischen Physik kein Gebrauch gemacht wurde, weil man nach der Erkenntnis, dass (2) mit der Lorentzschen „longitudinalen Masse" zu fehlerhaften Berechnungen führt, unbeirrbar an der Allgemeingültigkeit der klassischen Formel (2) hätte festhalten müssen, um (4) überhaupt für diskussionswürdig zu halten. Das aber widersprach offensichtlich nicht nur dem relativistischen Zeitgeist, sondern auch dem weiter oben bereits erwähnten Lenardschen Diktum, wonach (2) keine Definition der kinetischen Energie, sondern eine nur für Geschwindigkeiten $<<< c$ geeignete Rechenformel sein soll.

5. 3. Eine Berechnung der kinetischen Energie aus (4) wurde möglicherweise auch deswegen nicht auf ihre Erklärungsmächtigkeit hin überprüft, weil die Ableitung zu wenig Anhaltspunkte für eine physikalische Interpretation der mit dieser Formel berechneten longitudinalen Masse bietet und weil (4), oberflächlich betrachtet, den klaglos funktionierenden kanonischen Formeln der kinetischen Energie widerspricht. Im vierten Teil dieses Abschnittes wird deshalb gezeigt, dass sich eine die neu definierte longitudinale Masse enthaltende Formel der kinetischen Energie durch einfache Umformung aus der unstrittigen Gleichsetzung $eV = m_0c^2(\frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}}-1)$ ableiten lässt. Daraus kann geschlossen werden, dass auch die kanonischen Formeln nur andere Ausdrücke für die klassische Formel „kinetische Energie gleich Masse x halbes Geschwindigkeit" sind.

5. 4. Die aus dieser Ableitung gewonnene Formel, nach der sich die gesuchte „longitudinale Masse" als Summe der unveränderlichen Ruhemasse und zweier unterschiedlicher Massenäquivalente der kinetischen Energie darstellt, soll schon an dieser Stelle genannt werden: $m_{\text{int}} = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}} + \frac{eV}{c^2}\cdot\frac{eV}{v^2}\cdot\frac{\sqrt{1-(v/c)^2}}{m_0}$. **(5)**

Wegen $m_{imp} = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}} = m_0 + \frac{eV}{c^2}$ kann geschrieben werden:

$$m_{\text{int}} = m_0 + \frac{eV}{c^2} + \frac{eV}{c^2} \cdot \frac{eV}{v^2} \cdot \frac{\sqrt{1-(v/c)^2}}{m_0} . \qquad \textbf{(6)}$$

In dieser Schreibweise wird deutlich, dass die gesuchte (im Vergleich zur Lorentzschen „longitudinalen Masse" etwas kleinere) „longitudinale Masse" als Summe der unveränderlichen Ruhemasse und zweier Massenäquivalente gegeben ist: Das Massenäquivalent der kinetischen Energie liefert zusammen mit der Ruhemasse die Impulsmasse. Die Impulsmasse wiederum liefert zusammen mit einem zweiten Massenäquivalent, das sich wegen des Vorfaktors eV/c^2 als Derivat des Massenäquivalents der kinetischen Energie zu erkennen gibt, die neudefinierte longitudinale Masse. Um eine Verwechslung mit der Lorentzschen longitudinalen Masse zu vermeiden, bezeichnet Verf. diese besondere bewegte Masse als „kinetische Gesamtmasse" mit dem Kürzel int für „*integrale* Masse".

5. 5. Wegen $eV = m_0 c^2 (\frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} - 1)$ folgt aus (5)

$$m_{\text{int}} = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}} + \frac{(m_0 c^2 / \sqrt{1-(v/c)^2} - m_0 c^2)^2 \cdot \sqrt{1-(v/c)^2}}{m_0 c^2 v^2} . \qquad \textbf{(6a)}$$

Formel (6a) lässt sich vereinfachen zu $m_{\text{int}} = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}} 2 \frac{c^2}{v^2} (1 - \sqrt{1-v^2/c^2})$. **(6b)**

Dieser Ausdruck ist (in anderer graphischer Anordnung) identisch mit jener Formel, die weiter oben bereits als (4b) abgeleitet wurde.

5. 6. Eine physikalische Interpretation bietet sich am ehesten für die Formel (6) an: Es ist die kinetische Energie die Summe des Trägheitswiderstandes eines bewegten Körpers gegen eine transversale Ablenkung ($m_0 + \frac{eV}{c^2}$), der in der geltenden Theorie als Impulsmasse bezeichnet wird, und eines zusätzlichen, von $\frac{eV}{c^2}$ sowie von der Ruhemasse und vom Quadrat der Geschwindigkeit abhängenden Massenäquivalents, mit dem die allein in Bewegungsrichtung wirksame Komponente des Gesamtträgheitswiderstandes in die Berechnung der kinetischen Energie eingebracht wird. Wünschenswert wäre eine Ableitung dieser Komponente etwa aus dem Kraftgesetz, da auch die kinetische Energie als solche aus dem Kraftgesetz abgeleitet werden kann. Die dazu erforderliche etwas anspruchsvollere Mathematik steht dem Verf. nicht zur Verfügung.

5. 7. An dieser Stelle soll wieder nur an dem bereits weiter oben herangezogenen konkreten Beispiel gezeigt werden, dass auch mit der so definierten „kinetischen Gesamtmasse" die kinetische Energie tatsächlich korrekt berechnet wird, wie dies schon für die Berechnung der „kinetischen Gesamtmasse" aus Formel (4) gezeigt wurde. Aus (6) erhält man für den in Abs. 4. 4. angenommenen Fall, dass die Impulsmasse gleich zwei Elektronenruhemassen sei, und mit den dort angegeben Werten für die zugehörige Geschwindigkeit und Spannung die „kinetische Gesamtmasse" wieder zu $m_{\text{int}} = 2{,}4291706 \cdot 10^{-30}\ kg$, so dass sich mit diesem Massenbetrag auch die kinetische

Energie aus (2) wieder in exakter Übereinstimmung mit dem aus den unstrittigen kanonischen Formeln (1) und $E_{kin} = eV$ berechneten Wert ergibt. Desgleichen berechnet sich, da jetzt in die Geschwindigkeitsformel bereits der Betrag der „kinetischen Gesamtmasse“ eingesetzt werden kann, die Geschwindigkeit des Elektrons, wie auf Grund der Ableitung der Formel für die “kinetische Gesamtmasse“ nicht anders zu erwarten, aus $v = \sqrt{2eV / m_{\text{int}}}$ für die hier vorausgesetzte Beschleunigungsspannung $V = m_0 c^2 / e$ korrekt zu $v = 0{,}866\, c$, während man unter Ansetzung der zugehörigen Impulsmasse (= 2 Elektronenruhemassen) im Widerspruch zur starken Lesart des Einsteinschen Satzes von der Grenzgeschwindigkeit aus
$v = \sqrt{2eV / m_{imp}} = \sqrt{2m_0 c^2 / 2m_0}$ exakt $v = c$ erhält.

5. 7. 1. Der Nachweis, dass sich die kinetische Energie bei *beliebiger Geschwindigkeit* aus (2) unter Ansetzung der „kinetischen Gesamtmasse“ in exakter Übereinstimmung mit dem aus den kanonischen Formeln berechneten Wert bestimmen lässt, wird im nächstfolgenden Teil dieses Abschnittes geführt.

6. Das hier skizzierte Konzept einer „kinetischen Gesamtmasse“ muss sich u. a. mit dem Argument auseinandersetzen, dass auch die vorstehend zur Diskussion gestellten Formeln (6), (6a) und (6b) den „relativistischen“ Faktor $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}}$ enthalten.
In relativistischen Texten wird daraus gefolgert, dass derartige Formeln ein physikalisches Phänomen beschreiben, das nur relativistisch, d. h. mit Hilfe der Lorentz/-Einsteinschen Raumzeitannahmen, erklärt werden könne. Einwände gegen diesen Ausschließlichkeitsanspruch hat Verf. bereits in den vorangehenden Texten erörtert:

6. 1. Im ersten Teil dieses Abschnittes wurde gezeigt, dass (1), obwohl auch in dieser Formel der „relativistische Faktor“ enthalten ist, ohne Rückgriff auf die Lorentz/-Einsteinschen Raumzeitannahmen allein aus der Äquivalenz von Energie und Masse abgeleitet werden kann, die ihrerseits einer relativistischen Begründung nicht bedarf. Es gibt daher keinen Grund, unter Hinweis auf diese Formel die kinetische Energie als eine Erscheinung aufzufassen, die nur „relativistisch“ zu erklären sei.

6. 2. A. a. O. wurde auch gezeigt, dass die kinetische Energie nicht von den relativistischen Raumzeitannahmen abhängen kann, weil diese eine besondere Beschaffenheit von Raum und Zeit im betrachteten Bezugssystem postulieren, während die kinetische Energie von der Zeit und der Länge des zurückgelegten Weges völlig unabhängig ist. Umgekehrt ist unstrittig, dass die relativistischen Raumzeiteffekte von der Masse des bewegten Körpers völlig unabhängig sein sollen, während die kinetische Energie auch von der Masse abhängt.

6. 3. Außerdem wurde bereits in vorangehenden Texten dargelegt, dass der γ-Faktor völlig unabhängig von den relativistischen Annahmen aus dem Quotienten
$\frac{c^2}{c^2 \pm v^2}$ hervorgeht: Mit diesem und dem entsprechenden nicht-quadratischen Term
$\frac{c}{c \pm v}$ wird bei der Berechnung von geschwindigkeitsabhängigen Erscheinungen in der Optik der bewegten Körper die Differenz oder Summe der effektrelevanten mechanischen Geschwindigkeit v und der Vakuumlichtgeschwindigkeit c in ein Verhält-

nis zu c gesetzt. Darin gibt sich die in den vorliegenden "Überlegungen …" in Übereinstimmung mit der klassischen Optik der bewegten Körper vorausgesetzte Tatsache zu erkennen, dass die geschwindigkeits- *und richtungsabhängigen* optischen Erscheinungen auf die Relativbewegung der ruhemassebehafteten Körper (Sender und/oder Empfänger) gegen die elektromagnetische Welle zurückzuführen sind und nicht, wie die Relativitätstheorie postuliert, auf die Relativbewegung Sender:Beobachter.

6. 3. 1. Es sei schon an dieser Stelle auf die seit langem bekannte Tatsache hingewiesen, dass die relativistische These, wonach die bewegungs- und richtungsabhängigen optischen Erscheinungen von der Relativbewegung Sender:Beobachter abhängen, u. a. durch die stellare (Bradleysche) Aberration widerlegt ist, die eindeutig nicht von der Relativbewegung Erde:Fixstern abhängt. Hierzu ausführlicher im nächstfolgenden Abschnitt.

6. 4. In der Mechanik tritt der Quotient $\frac{c^2}{c^2 \pm v^2}$ deswegen z. B. bei der Berechnung der „bewegten Masse" in Erscheinung, weil die Vakuumlichtgeschwindigkeit, wie dies auch der Einsteinsche Satz von der Lichtgeschwindigkeit c als Grenzgeschwindigkeit besagt, ein absoluter Vergleichsmaßstab ist.

7. Es seien einige Argumente genannt, die für die Annahme einer „kinetischen Gesamtmasse" und die Möglichkeit einer Berechnung der kinetischen Energie als Produkt „kinetische Gesamtmasse x halbes Geschwindigkeitsquadrat" sprechen.

7. 1. Für die Annahme einer „kinetischen Gesamtmasse" spricht vor allem, dass sich mit dieser Masse die kinetische Energie aus (2) korrekt berechnen lässt. Es müsste daher die grundsätzliche Unzulässigkeit der Formel (2) bewiesen werden, um auch die Annahme einer „kinetischen Gesamtmasse" für physikalisch nicht haltbar zu erklären. Eine nachvollziehbare Begründung für eine grundsätzliche Unzulässigkeit von (2) hat Verf. bisher nicht gefunden und er wagt auch die Behauptung, dass es eine solche Begründung nicht geben kann.

7. 1. 1. Für die Annahme, dass die kinetische Energie als Produkt „kinetische Gesamtmasse x halbes Geschwindigkeitsquadrat" berechnet werden kann, spricht auch die (bei entsprechender Schreibweise erkennbare) Tatsache, dass das halbe Geschwindigkeitsquadrat z. B. schon in der Formel der Beschleunigungsarbeit enthalten ist, aus der die kinetische Energie des bewegten Körpers folgt: $A = Fs = \frac{v^2}{2}\frac{1}{a}$.

7. 2. Weiter oben wurde die Erklärungsmächtigkeit der Annahme einer „kinetischen Gesamtmasse" nur an einem einzigen konkreten Fall demonstriert. Es wird aber im nächstfolgenden Abschnitt zu zeigen sein, dass sich die aus (6) folgende Formel der kinetischen Energie

$$E_{kin} = [\frac{m_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}} + \frac{eV}{c^2} \cdot \frac{eV}{v^2} \cdot \frac{\sqrt{1-(v/c)^2}}{m_0}] \cdot \frac{v^2}{2} \qquad \textbf{(7)}$$

aus der kanonischen Gleichung $eV = m_0 c^2 (\frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} - 1)$ ableiten lässt. Damit ist zumindest erwiesen, dass (7) den kanonischen Formeln äquivalent ist.

7. 3. Die klassischen Formeln des Impulses und der kinetischen Energie machten diese Parameter außer von der unveränderlichen Masse Newtons von unterschiedlichen Anteilen der Geschwindigkeit abhängig: es sollte der Impuls von der einfachen

Geschwindigkeit v abhängen, die kinetische Energie hingegen vom halben Geschwindigkeitsquadrat. Die Formel des Impulses ($\vec{p} = m\vec{v}$) wird an die Erkenntnis von der Geschwindigkeitsabhängigkeit des Trägheitswiderstandes angepasst, indem statt der unveränderlichen Masse Newtons die Impulsmasse eingesetzt wird. Es scheint daher nur folgerichtig, auch die klassische Formel der kinetischen Energie an den modernen Erkenntnisstand anzupassen, indem eine dynamische Masse definiert wird, mit der sich die kinetische Energie für jede Geschwindigkeit $< c$ aus $E_{kin} = mv^2 / 2$ korrekt berechnen lässt.

7. 4. Man könnte angesichts der Exstenz der bequemeren und ebenfalls für beliebige Geschwindigkeiten $< c$ gültigen kanonischen Formeln eine Berechnung der kinetischen Energie als Produkt „kinetische Gesamtmasse x halbes Geschwindigkeitsquadrat" einfach für überflüssig halten. Dem steht die Tatsache entgegen, dass in vielen mechanischen Berechnungen (so z. B. in der Himmelsmechanik und in der Satellitennavigation) das Produkt $mv^2 / 2$ unverzichtbar ist.

7. 5. Im vierten Teil dieses Abschnittes wird unter der Fragestellung der physikalischen Realität der „kinetischen Gesamtmasse" ein besonderer Aspekt zu erläutern sein: Es lässt sich zeigen, dass die Geschwindigkeit, bei der die „kinetische Gesamtmasse" gleich zwei Elektronenruhemassen ist, mit der Vakuumlichtgeschwindigkeit durch die Wurzel des Kehrwertes der Goldenen Zahl verbunden ist. Ferner ist die Spannung, bei der die Impulsmasse gleich zwei Elektronenruhemassen ist, mit der Spannung, bei der die „kinetische Gesamtmasse" gleich zwei Elektronenruhemassen ist. durch den Kehrwert der Goldenen Zahl verbunden. Diese und andere auffallende mathematische Zusammenhänge im Wertegefüge der „kinetischen Gesamtmasse" deutet Verf. als Hinweis auf die physikalische Bedeutsamkeit dieses bisher in der Physik nicht berücksichtigen Massenbetrages.

8. Verf. meint, mit dem vorstehend Gesagten gezeigt zu haben, dass es gute Gründe für die Annahme gibt, dass die kinetische Energie auch aus der klassischen Formel „kinetische Energie = Masse x halbes Geschwindigkeitsquadrat" für beliebige Geschwindigkeiten $< c$ exakt berechnet werden kann, wenn die einzusetzende Masse, wie weiter oben gezeigt, als „kinetische Gesamtmasse" definiert wird. Wenn dem so ist, dann wäre das Modell der „kinetischen Gesamtmasse", weil deren Berechnung einer Bezugnahme auf die relativistischen Raumzeitannahmen nicht bedarf, ein weiterer Baustein für die hier zur Diskussion gestellte Physik ohne „Kontraktion der Längen" und „Dilatation der Zeit" resp. ohne die „gekrümmte Raumzeit" Einsteins und damit für eine allgemeingültige klassische Physik ohne Relativierung des Raumes, der Zeit und der Gleichzeitigkeit.

Literatur:

[1] vgl. hierzu im Vorlesungsscript „Physik I Mechanik, Akustik, Wärme" WS 1999/2000 von Prof. Dr. R. Gross und Dr. A. Marx die schwache Lesart des Satzes von der Grenzgeschwindigkeit: „Nach Einstein ist die maximale Geschwindigkeit, mit der sich Körper bewegen können, die Lichtgeschwindigkeit c." Zitiert nach dem im Internet veröffentlichten Text.

[2] vgl. Dellian, Ed: Newton on Mass and Force.

A Comment not only on Max Jammer's "Concepts of Mass" (1961; 2000). Quelle: Internet

[3] So in einem Vortrag Poincarés aus dem Jahre 1904, der 1906 in deutscher Übersetzung unter dem Titel „Der gegenwärtige Zustand und die Zukunft der mathematischen Physik“ und 1959 in neuer Übersetzung und in etwas geänderter Fassung unter dem Titel „Der Stand der theoretischen Physik an der Jahrhundertwende“ veröffentlicht wurde. In der Fassung von 1906 lesen wir im Abschnitt über das Lavoisiersche Prinzip (Erhaltung der Masse): „Ein mit beträchtlicher Geschwindigkeit bewegter Körper setzt Kräften, die ihn von seiner Bahn abzuleiten streben, nicht dieselbe Trägheit entgegen, wie denen, die ihn in seiner Bahn zu beschleunigen oder zu verzögern streben.“ Zitiert nach dem im Internet veröffentlichten Text.

[4] „Der **Impuls** ist wie die mit ihm verknüpfte Geschwindigkeit eine Vektorgröße, hat also einen Betrag und weist in die **Richtung** der Bewegung.“ Quelle: Internet, Wikipediabeitrag „Impuls“.

Oskar Törne
02.10.2013