

Die Äquivalenz von Masse und Energie und die Folgen fehlerhafter Betrachtungen

Kritische Anmerkungen von Dr. Manfred Pohl (16.07.2016)

Im nachfolgenden Beitrag greife ich eine Reihe von Darstellungen im Internet zum Problem des Verständnisses von Masse und Energie auf und versuche, sie mit wissenschaftlichen Methoden zu bewerten. Meine eingefügten **Kommentare** erscheinen **in roter Schrift**. Es läßt sich zeigen, daß eine große Zahl falscher Auffassungen auf einen fehlerhaften oder falschen Materiebegriff zurückzuführen ist, mit dem nichtmaterielle Entitäten als materielle Objekte angesehen werden und sowohl rechnerisch als auch verbal so behandelt werden. Einige Irrtümer gehen auch auf eine unexakte Sprache zurück, die mit fehlerhaften Begriffsbildungen zu falschen Haltungen führt. In den Zitaten belasse ich auch Darstellungen, die ich für richtig halte, sie haben dann eine erklärende Funktion im Sinne der Absicht des gesamten Beitrages, das Thema Masse und Energie umfassender darzustellen. Orthographie und Grammatik der Autorenzitate belasse ich unverändert.

1. Wikipedia

https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%84quivalenz_von_Masse_und_Energie ,

„Die **Äquivalenz von Masse und Energie** oder kurz $E = m \cdot c^2$ ist ein 1905 von Albert Einstein im Rahmen der speziellen Relativitätstheorie entdecktes Naturgesetz. Es besagt, daß die Masse¹⁾ und die Ruheenergie eines Objekts zueinander proportional sind:

$$E = m \cdot c^2$$

Darin ist c die Lichtgeschwindigkeit.

Eine Änderung der inneren Energie eines Systems bedeutet daher auch eine Änderung seiner Masse. Durch den großen konstanten Umrechnungsfaktor c^2 gehen Energieumsätze, wie sie im Alltag typisch sind, mit nur kleinen, kaum meßbaren Änderungen der Masse einher. So erhöht z. B. die elektrische Energie von $88 \text{ Ah} \times 12 \text{ V} \approx 1 \text{ kWh}$, die in einer durchschnittlichen Autobatterie gespeichert ist, deren Masse um lediglich 42 ng .

In der Kernphysik, der Elementarteilchenphysik und der Astrophysik tritt die Äquivalenz von Masse und Energie weit stärker in Erscheinung. Die Masse von Atomkernen ist aufgrund der bei ihrer Entstehung freigesetzten Bindungsenergie um knapp ein Prozent kleiner als die Summe der Massen ihrer ungebundenen Kernbausteine. Trifft ein Elektron auf sein Antiteilchen (das Positron), zerstrahlen sie sich gegenseitig. Dabei geht ihre ganze Energie einschließlich ihrer Ruheenergie in die Strahlungsenergie von neu entstehenden Teilchen über, meist Photonen. Die beiden Massen von Teilchen und Antiteilchen werden dabei föhglich vernichtet.“

Nein, das ist nicht richtig. Sie werden nicht „vernichtet“. Masse kann man nicht vernichten. Auch Photonen haben Masse, denn sie sind Materie, haben Energie. Diese vermeintliche Vernichtung von Masse, in anderen Zusammenhängen als „Umwandlung von Masse in Energie“ bezeichnet, ist einer der Grundfehler, der sich in der heutigen Physik festgesetzt hat. Er hat seine Ursachen in dem Umstand, daß nicht eindeutig definiert ist, was unter Materie zu verstehen ist. Häufig wird die Materie auf die Masse reduziert, damit wird die Energie aus der Materie herausgelöst, als nicht zur Materie gehörend angesehen. Das mündet dann in absurde Darstellungen, mit denen Materie in Energie umgewandelt wird und zurück, Masse entstehen kann, Materie aus Nichts erzeugt wird, nichtmaterielle Entitäten wie die Kraft, der Raum und die Zeit wie Materie behandelt werden, der Energieerhaltungssatz grundsätzlich in Frage gestellt wird und in andere unhaltbare Thesen. Die eindeutige Definition des Begriffes Materie als **die objektive Realität, die nicht entstehen und nicht verschwinden kann, die unendlich im Raum und ewig in der Zeit existiert, ist eine Grundvoraussetzung jeglicher physikalischer Betrachtungsweise, mit der die meisten der bestehenden Probleme gelöst werden können.**

„Überblick und Beispiele

Daß die Äquivalenz von Masse und Energie in der klassischen Physik wie im Alltag unbemerkt blieb, läßt sich aus der Größe des Faktors $c^2 \approx 9 \cdot 10^{16} \text{ m}^2/\text{s}^2$ heraus verstehen. Nach $E = m \cdot c^2$ entsprechen den Energieumsätzen von normaler Größe (etwa bei chemischen Reaktionen wie Verbrennung oder bei Erzeugung von Wärme durch mechanische Arbeit) nur extrem kleine Änderungen der Masse, die mit der Waage auch heute kaum meßbar sind. Infolgedessen wurden für abgeschlossene Systeme zwei getrennte Erhaltungssätze aufgestellt: Erhaltung der gesamten Masse, Erhaltung der gesamten Energie. Da jedoch Umwandlungen zwischen kinetischer Energie und Ruheenergie möglich sind (Beispiele: inelastischer Stoß, radioaktiver Zerfall) und nur die Ruheenergie zur Masse beiträgt. **Das ist falsch, dann wäre ja nur die Ruheenergie der Masse äquivalent, die kinetische Energie hingegen**

nicht, „ist die Massenerhaltung nicht allgemein gültig.“ Doch. Sie ist in jedem Falle allgemeingültig. Beim Massendefekt wird nicht betrachtet, daß die Massen den Beobachtungsort verlassen. Damit ist zu zeigen, daß durch Energieabstrahlung auch Masse den Ort wechselt. In jedem Falle ist die Auffassung zu verwerfen, der Massendefekt deute auf ein „Verschwinden“ oder eine „Vernichtung“ von Masse hin. „Die mit einer Energieübertragung ΔE verbundene Änderung $\Delta m = \Delta E / c^2$ der Masse eines Objekts wird je nach Vorzeichen auch als Massenzuwachs bzw. Massendefekt bezeichnet. Anstelle von zwei Erhaltungssätzen hat man also nur noch einen, den Energieerhaltungssatz.

Bei der Verbrennung von Kohle wird Energie in Form von Wärme und Strahlung frei, die Masse des dabei entstehenden Kohlenstoffdioxids ist aber nur unmeßbar kleiner als die Summe der Massen der Ausgangsstoffe Kohlenstoff und Sauerstoff. Generell trägt der Energiezuwachs, der mit einer Temperaturerhöhung verbunden ist, nur unwesentlich zur Masse bei. Die Sonne etwa ist nur rund 0,0001 Prozent massereicher, als wenn sie kalt wäre.

In alltäglichen Situationen übersteigt die Ruheenergie eines Körpers seine kinetische Energie um viele Größenordnungen. Selbst bei der Geschwindigkeit eines Satelliten im Erdorbit (ca. 8 km/s) beträgt seine kinetische Energie E_{kin} einerseits weniger als ein Milliardstel seiner Ruheenergie:

$$\frac{E_{kin}}{E} = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{mc^2} \approx 0,35 \cdot 10^{-9},$$

ist aber andererseits so groß, daß sie den Satelliten verglühen lassen kann, wenn sie sich bei seinem Wiedereintritt in die Atmosphäre in eine gleich große Wärmemenge umwandelt.

Ein Wasserstoffatom – bestehend aus einem Elektron und einem Proton – hat ca. 1/70.000.000 weniger Masse als die beiden freien Teilchen zusammen. Diese Massendifferenz ist bei der Bildung des Atoms als Bindungsenergie freigeworden. Für Atomkerne ist dieser Massendefekt sogar recht groß: beispielsweise rund 0,8 % bei ^{12}C . „Richtig. Ich hielte es aber auch für sinnvoll zu erklären, für welchen Vorgang, also zwischen welchen beiden Zuständen der Massendefekt eintritt, nämlich bei der Synthese des Kerns. Der Kern hat eine 0,8 % geringere Masse als die Summe der Massen seiner Protonen und Neutronen. Die fehlende Masse ist das Äquivalent der Energie, die bei der Bildung der starken Kernkraft abgegeben wurde.“

„Bekannte Beispiele für die Äquivalenz von Masse und Energie sind:

- Vernichtungsstrahlung: Ein Teilchenpaar Elektron-Positron, das zusammen eine Masse von ca. $m = 2 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$ besitzt, kann sich in masselose Strahlung auflösen: zwei Gammaquanten von je 511 keV Energie.“ Mit Verlaub: Masselose Strahlung gibt es nicht. Das ist physikalischer Unsinn. Strahlung ist Energie, und hat deshalb immer auch eine äquivalente Masse. Sind Gammaquanten etwa ohne Masse? „Die Ruheenergie $E_0 = m \cdot c^2$ des Systems vor der gegenseitigen Vernichtung ist genau so groß wie die Energie der entstehenden Strahlung.“ Richtig. Und genau dort ist nun auch die Masse der Teilchen. Die Teilchen bestehen nach der Kollision nicht mehr, aber ihre Masse ist weiterhin als Strahlungsenergie vorhanden, keinesfalls ist sie „vernichtet“ worden.
- „Kernspaltung und Kernfusion: Ein Atomkern des Elements Uran kann in mehrere Bruchstücke zerplatzen.“ (eine sehr malerische Ausdrucksweise in einem Wissenschaftstext) „deren Massen zusammen ca. 0,1 % kleiner sind als der ursprüngliche Urankern. Die dabei freigesetzte Energie entspricht nach $E = m \cdot c^2$ genau dieser Abnahme der Masse und kann (bei Spaltung einer entsprechend großen Stoffmenge) u. a. als Explosion (Atombombe) oder Wärmequelle (Kernkraftwerk) in Erscheinung treten. Analoges gilt für die Kernfusion: Bei der Bildung von Helium aus Wasserstoff verschwindet sogar ca. 0,8 % der Masse,“ Wohin? Der Begriff Verschwinden bedarf ganz sicher einer Erklärung. „was die hauptsächliche Energiequelle vieler Sterne darstellt (siehe Stellare Kernfusion).“
- Die Sonne verliert allein durch das von ihr abgestrahlte Licht in jeder Sekunde rund 4 Millionen Tonnen Masse.“ Das ist nicht exakt. Die Abstrahlung der Sonne besteht nicht nur aus Licht. Das Spektrum ist sehr viel breiter. Die gesamte Energieabstrahlung entspricht der in den Raum abgegebenen Masse. „Verglichen mit der gesamten Masse der Sonne von rund $2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ ist dieser Effekt jedoch vernachlässigbar. Auch nach mehreren Milliarden Jahren hat die Sonne auf diese Weise weit weniger als ein Promille ihrer Masse verloren. Konkreter: Nach 1 Milliarde Jahre sind es 0,063 Promille. 1 Promille würde somit rein rechnerisch nach 15,8 Milliarden Jahren abgestrahlt. Man vermutet jedoch, daß bereits nach viel kürzerer Zeit die für die Kernfusion erforderlichen Materialreserven versiegen werden und die Sonne in eine andere Existenzform übergeht (Supernova oder weißer Zwerg). In diesem Sinne ist der Effekt vernachlässigbar.“

Einordnung

Die moderne Physik formuliert die Begriffe Masse und Energie mit Hilfe der [Energie-Impuls-Relation](#) der speziellen Relativitätstheorie: Demnach hat jedes abgeschlossene physikalische System (im Folgenden „Körper“ genannt) eine Gesamtenergie E und einen Impuls $\vec{p} = (p_x, p_y, p_z)$, deren Werte je nach dem gewählten Bezugssystem verschieden sein können, sowie eine unveränderliche Masse m , die eine vom Bezugssystem unabhängige Eigenschaft des Körpers ist.“ **Zunächst: Mit solchen sprachlichen Unexaktheiten gelangt man unweigerlich zu fehlerhaften theoretischen Ansichten. Masse ist keine „Eigenschaft“ eines Körpers. Masse ist Materie. Der Körper existiert nur deshalb, weil er eine Masse hat. Weiter: Aus der speziellen Relativitätstheorie ist hinlänglich bekannt, daß die Masse eben nicht unabhängig vom Bezugssystem ist. Das zeigen rein rechnerisch die Lorentz-Transformationen. Die unterstrichene Textpassage geht also völlig an der Wirklichkeit vorbei. Gemeint ist hier nämlich die Ruhemasse. Mit einer Änderung ihres Bewegungszustandes ändert sich ihre Energie und damit auch ihre Masse. Diese Tatsache wurde doch weiter oben schon ausgeführt, so ist es verwunderlich, daß es nun anders dargestellt wird.** „Die Größen $(\frac{E}{c}, \vec{p})$ bilden die vier Komponenten des Energie-Impuls-Vierervektors des Körpers. Die Norm dieses Vierervektors ist (bis auf einen konstanten Faktor c) durch die Masse m bestimmt:

$$m \cdot c = \sqrt{\left(\frac{E}{c}\right)^2 - p^2}$$

Nach der Energie umgestellt:

$$E = \sqrt{(mc^2)^2 + p^2 c^2}$$

Im Schwerpunktsystem ($\vec{p} = 0$) ergibt sich für die Energie wieder $E = m \cdot c^2$, auch oft als Ruheenergie E_0 bezeichnet.

Von einem anderen Bezugssystem aus betrachtet hat derselbe Körper andere Werte für die vier Komponenten, die man durch Umrechnung mit der Lorentztransformation erhält.“ **Hier wird nun korrekterweise bestätigt, was weiter oben noch geleugnet wurde: Die Größen des Energie-Impuls-Vierervektors – und damit auch die Masse – sind abhängig vom Bezugssystem. Solche widersprüchlichen Aussagen sollten in einer wissenschaftlichen Darstellung vermieden werden, weil sie für den Leser Verwirrung stiften, aber keine Klarheit bringen.** „Bewegt sich das Bezugssystem mit Geschwindigkeit $-\vec{v}$ gegen den Körper, so hat er in diesem Bezugssystem die Geschwindigkeit $+\vec{v}$ und seine Energie und sein Impuls bestimmen sich gemäß

$$E = \gamma \cdot m \cdot c^2, \quad \vec{p} = \gamma \cdot m \cdot \vec{v},$$

$$\text{wobei } \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Dabei bleibt die Norm des Vierervektors $(\frac{E}{c}, \vec{p})$ erhalten (siehe oben), die Masse m ist also eine [Lorentzinvariante](#), früher als *Ruhemasse* bezeichnet.“ **Wieso früher? Sie heißt immer noch Ruhemasse, und sie ist invariant in der Lorentztransformation. Nicht aber die Masse. Das wird hier aber nicht klar unterschieden.**

„Wenn man die Gleichung $E = \gamma \cdot m \cdot c^2$ nach Potenzen von $\beta = \frac{v}{c}$ in eine Taylor-Reihe entwickelt, erhält man:

$$E = mc^2 + \frac{1}{2}mc^2\beta^2 + \frac{3}{8}mc^2\beta^4 + \dots$$

Das „nullte“ Glied dieser Reihe ist wieder die Ruheenergie $E_0 = m \cdot c^2$ des Körpers. Alle höheren Glieder zusammen bilden die kinetische Energie $E_{kin} = E - E_0$. Im ersten dieser Glieder hebt sich c^2 heraus und es ergibt sich die klassische kinetische Energie

$$E_{kin \text{ klassisch}} = \frac{1}{2}m \cdot v^2.$$

Dies ist eine gute Näherung, wenn im nichtrelativistischen Fall (d. h. $v^2 \ll c^2$) alle weiteren Glieder vernachlässigt werden können, weil sie Potenzen von $v^2/c^2 \ll 1$ enthalten. Bei sehr großen Geschwindigkeiten können diese höheren Glieder nicht vernachlässigt werden. Sie repräsentieren dann das überproportionale Anwachsen der kinetischen Energie für relativistische Geschwindigkeiten.“ **Ja, und damit zweifelsfrei auch der Masse. Was aber ist „überproportionales“ Anwachsen? Mindestens ein sprachlicher Mißgriff. Das Anwachsen ist proportional dem Faktor γ (siehe weiter oben).**

„Gravitation

Einstein erweiterte 1907 seine Überlegungen auch auf die Gravitation. Das Äquivalenzprinzip, also die Gleichheit von träger und schwerer Masse, führte ihn zur Schlußfolgerung, daß eine Zunahme der Ruheenergie eines Systems auch eine Zunahme der schweren Masse zur Folge hat. Bei der Weiterführung dieses Gedankens im Rahmen der allgemeinen Relativitätstheorie ergab sich, daß nicht nur die Masse, sondern der Energie-Impuls-Tensor als Quelle des Gravitationsfeldes anzusehen ist.“

Das ist bis hierher ein sehr guter Ansatz, der bei richtiger Anwendung auf die Frage der Herkunft, der Ursache der Gravitation führen könnte. Wir wissen, daß Gravitation eine Eigenschaft der Masse ist. Aber wir wissen nicht, warum die Masse eine solche Eigenschaft hat. Bedauerlicherweise wird dieser richtige Ansatz in der Folge dann falsch verwendet (auch durch Einstein), indem diese Eigenschaft selbst als Materie definiert wird. Einstein erklärt im Jahre 1916 in seinem Vortrag an der Preußischen Akademie der Wissenschaften, „...daß diese $y_{\mu\nu}$ in analoger Weise berechnet werden können wie die retardierten Potentiale der Elektrodynamik.“ Genau hierin ist der theoretische Denkfehler. Die Potentiale der Elektrodynamik sind materielle Felder, das Gravitationsfeld aber nicht. Der Fehler hat sehr weitreichende Folgen. Einstein schlußfolgert aus diesem Irrtum, daß die Gravitation sich „ausbreiten“ müsse wie ein materielles Feld. Gravitation aber ist eine Kraft; die Verwendung des Begriffes Ausbreitung (also Bewegung) auf eine Kraft ist ohne Sinn, eine Kraft bewegt sich nicht. Diese „Ausbreitung“, der er schlußendlich die Lichtgeschwindigkeit zuordnet, führt ihn in der Konsequenz zur Annahme der Existenz von „Gravitationswellen“. An diesem Fehler krankt die Physik noch heute. Mit erheblichem materiellen und intellektuellen Aufwand wird nach diesen Gravitationswellen gesucht, die es nicht geben kann, weil eben Gravitation keine Materie ist. Einstein hat über eine längere Zeit versucht, zusammen mit dem ungarischen Mathematiker Marcel Großmann die Existenz dieser Wellen mathematisch nachzuweisen. In der 1913 dazu veröffentlichten Arbeit *Entwurf einer verallgemeinerten Relativitätstheorie und einer Theorie der Gravitation* versuchen beide, das Gravitationsfeld mit dem Energie-Impuls-Tensor T_{ik} zu berechnen. Dr. Johannes Neidhardt, Universität Köln, hat 2008 diese Arbeit analysiert und dabei auf die enormen Schwierigkeiten hingewiesen, die beide mit dem Versuch hatten, das Gravitationsfeld mit den mathematischen Operatoren der Materiebewegung zu berechnen. Dies gelang nur unter Voraussetzung einiger spekulativer, meiner Meinung nach unhaltbarer Annahmen, die keiner Prüfung unterzogen worden sind. Einige der begonnenen Versuche mußten verworfen werden.

„Ein Beispiel ist der Gravitationskollaps. Wenn im Innern eines Sterns ausreichend großer Gesamtmasse die nukleare Wärmezeugung erlischt, konzentriert sich seine Materie auf so kleinem Raum, daß das innen immer stärker werdende Gravitationsfeld selbst durch seine Feldenergie zur weiteren Anziehung und Kontraktion beiträgt. Die Folge ist ein Schwarzes Loch. **Der Vorgang ist unbestritten, aber seine Erklärung ist ungenau. Ein Gravitationsfeld enthält keine „Feldenergie“, weil Gravitation eine Kraft ist, Energie hingegen ist Materie, eine Kraft nicht.**

Geschichte

Überblick

→ *Hauptartikel:* [Geschichte der speziellen Relativitätstheorie](#)

Der Zusammenhang zwischen Masse, Energie, und Lichtgeschwindigkeit wurde bereits ab 1880 von unterschiedlichen Autoren im Rahmen von Maxwells Elektrodynamik bedacht. Joseph John Thomson (1881), George Searle (1897), Wilhelm Wien (1900), Max Abraham (1902) und Hendrik Lorentz (1904) erschlossen, daß die elektromagnetische Energie E_{em} dem Körper eine „elektromagnetische Masse“ hinzufügt gemäß der Formel (in moderner Notation)

$$m_{em} = \frac{4}{3} \cdot \frac{E_{em}}{c^2}.$$

Zu derselben Formel gelangte [Friedrich Hasenöhr](#) (1904/05) durch Betrachtung der elektromagnetischen [Hohlraumstrahlung](#) eines Körpers, wobei er auch die Abhängigkeit der Masse von der Tempe-

ratur feststellte. [Henri Poincaré](#) (1900) hingegen folgerte aus Betrachtungen zum [Reaktionsprinzip](#), daß elektromagnetische Energie einer „fiktiven“ Masse von

$$m_{em} = \frac{E_{em}}{c^2}$$

entspricht. Die elektromagnetische Masse wurde auch als „scheinbare“ Masse bezeichnet, da man diese vorerst von der „wahren“, mechanischen Masse Newtons unterschied.

Albert Einstein leitete 1905 aus der von ihm kürzlich entwickelten [speziellen Relativitätstheorie](#) ab, daß die Masse m eines Körpers sich um $\Delta m = \Delta E / c^2$ ändern muß, wenn der Körper die Energie ΔE aufnimmt oder abgibt. Er gewann dieses Resultat für den Fall, daß es sich beim Energieumsatz ΔE um elektromagnetische Strahlung handelt. Als Erster erkannte er aber die Allgemeingültigkeit: Diese Äquivalenz muß auch für alle anderen möglichen Formen von Energieumsätzen gelten, und darüber hinaus auch für die gesamte Ruheenergie und die gesamte Masse gemäß

$$E_{Ruhe} = m \cdot c^2.$$

Damit war die Äquivalenz von Masse und Energie in eine umfassende Theorie, die spezielle Relativitätstheorie, eingebettet.

Diese Äquivalenz wurde von Albert Einstein auch „Trägheit der Energie“ genannt.

Es folgte eine Reihe weiterer theoretischer Herleitungen, daß unter den verschiedensten Bedingungen eine Änderung der Ruheenergie der Änderung der Masse in der Form $\Delta E_{Ruhe} = \Delta mc^2$ entspricht (s. unten die Zeittafel). Einstein selbst publizierte 18 solcher Herleitungen, die letzte im Jahr 1946. Regelmäßig wurde hervorgehoben, daß damit nicht schon die volle Äquivalenz in der Form $E_{Ruhe} = mc^2$ bewiesen sei, sondern nur in der Form $\Delta E_{Ruhe} = \Delta mc^2$ oder gleichbedeutend $E_{Ruhe} = mc^2 + const$ mit einem beliebigen konstanten Summanden. Da ein solcher Summand aber immer frei wählbar sei, denn bei der Angabe einer Gesamtenergie sei der Nullpunkt Sache der Konvention, könne man ihn (als „weitaus natürlichere“ Wahl (Einstein 1907)) gleich null setzen. In dieser Form wurde die Äquivalenz von Masse und Ruheenergie schon fester Bestandteil der theoretischen Physik, bevor sie durch Messungen überprüft werden konnte.

Experimentell wurde die Äquivalenz der Änderungen von Masse und Energie in der Form $\Delta E_{Ruhe} = \Delta mc^2$ ab 1920 anhand des [Massendefekts](#) der Kernmassen zugänglich. Ab den 1930er Jahren wurde sie quantitativ bei Kernreaktionen bestätigt, bei denen sowohl die Energieumsätze als auch die Differenz der Massen der Reaktionspartner vor und nach der Reaktion meßbar waren. Anfänglich lagen die Fehlergrenzen allerdings bei 20 %.

Eine experimentelle Prüfung der Äquivalenz in der Form $E_{Ruhe} = m \cdot c^2$ ist durch Messung der Energieumsätze bei der Erzeugung oder Vernichtung von Teilchen mit $m > 0$ möglich. Als Erster nahm Fermi 1934 bei der Entstehung der [Betastrahlung](#) einen solchen Prozeß an. Die neu erzeugten und ausgesandten Elektronen behandelte er mit Hilfe der quantenmechanischen [Dirac-Gleichung](#), die auf der [Energie-Impuls-Beziehung](#) $E = \sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4}$ der speziellen Relativitätstheorie beruht und damit der Erzeugung eines ruhenden Elektrons ($p = 0$) den Energieverbrauch $E_{Ruhe} = m \cdot c^2$ zuschreibt. Dies wurde durch Messung der maximalen kinetischen Energie der Elektronen und Vergleich mit der Energiebilanz der Kernumwandlung bestätigt.

Heute ist die Gültigkeit der Äquivalenz von Masse und Energie experimentell mit hoher Genauigkeit bestätigt:

$$\left| \frac{m \cdot c^2}{E_{Ruhe}} - 1 \right| \leq (1,4 \pm 4,4) \cdot 10^{-7} . "$$

Hier entstehen Fragen. $(1,4 \pm 4,4) \cdot 10^{-7}$ beinhaltet den Bereich von $+5,8 \cdot 10^{-7}$ bis $-3,0 \cdot 10^{-7}$. Was kann das bedeuten? Diese Darstellung ergibt keinen Sinn. Denn wenn der Ausdruck in den Zeichen des Absolutwertes kleiner oder gleich $-3,0 \cdot 10^{-7}$ ist, dann ist er natürlich auch kleiner $+5,8 \cdot 10^{-7}$. Wozu dient dann diese Angabe? Weiter: Ist nun die Ruheenergie oder die Gesamtenergie der Masse äquivalent? Steht hier nun die Ruhemasse oder die Gesamtmasse? Im gesamten voranstehenden Beitrag stößt man immer wieder auf Ungereimtheiten bei der Verwendung der Masse m und der Ruhemasse m_0 .

1) „Masse (Physik)

Die **Masse**, auch **Ruhemasse** oder **invariante Masse**, ist eine Eigenschaft der Materie.
„**Nein, das ist sie nicht. Masse ist eine Erscheinungsform, eine Darstellungsart der Materie, keine Eigenschaft.**“ „In den meisten physikalischen Größensystemen ist sie eine der Basisgrößen. Sie wird gemäß dem internationalen Einheitensystem in der Einheit Kilogramm angegeben. Das Formelzeichen ist meist m . Die Masse ist eine extensive Größe. Jedes physikalische System hat eine Masse. Sie ist unabhängig von der Bewegung gegenüber einem Bezugssystem.“ **Das ist unkorrekt – siehe weiter oben.** „Ist die Masse eines in Bewegung befindlichen Systems nicht null, sind die beiden mit der Bewegung verbundenen Erhaltungsgrößen, Impuls und kinetische Energie, zu seiner Masse proportional.“ **Das ist nicht exakt, denn auch die Ruheenergie ist zur Masse äquivalent.**

„Sowohl die auf einen Körper wirkenden, als auch die von ihm verursachten Gravitationskräfte sind proportional zu seiner Masse.“

Das ist eine falsche, überdies sehr verwaschene Darstellung. Gravitation ist immer eine Kraft zwischen mindestens zwei Massen. Die Gravitation kann also nicht zu einer Masse proportional sein. Für eine einzeln betrachtete Masse ist der Begriff Gravitation ohne physikalischen Inhalt. Es ist so unsinnig, als formulierte man: Die Ehe ist eine Verbindung zwischen einem Mann. Sieht man die Newtonsche Gravitationsgleichung an, fällt dies sofort auf:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}, \quad \text{mit} \quad G = 6,674 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2} \quad - \text{Gravitationskonstante}$$

Ist eine der Massen m_1 oder m_2 gleich Null, so ist auch die Gravitationskraft F gleich Null, heißt, es gibt sie nicht.

Die Unterscheidung der auf einen Körper „wirkenden“ und der von ihm „verursachten“ Gravitation ist Unfug. Solche Darstellungen erzeugen Auffassungen über eine Dualität der Gravitationskraft, die in der Folge eine „Bewegung“ dieser Kraft suggeriert. Ein Versuch der Beantwortung der folgenden Frage zeigt anschaulich die Unsinnigkeit einer „Bewegung“ der Gravitation: *Bewegt sich die Gravitation zwischen Sonne und Erde von der Sonne zur Erde oder von der Erde zur Sonne?* Man erkennt ohne Mühe, daß es keine Antwort gibt, weil die Frage keinen Sinn hat. Mit Hilfe dieser Fehlhaltung wird auch die „Abstrahlung“ der Gravitation von einer Masse zu beschreiben versucht.

„Ebenso bestimmt sie die Trägheit, mit der der Bewegungszustand des Körpers auf Kräfte reagiert. Diese doppelte Rolle der Masse ist Inhalt des Äquivalenzprinzips.“

Ferner bestimmt die Masse eines Systems dessen Ruheenergie. Aufgrund der Äquivalenz von Masse und Energie unterscheiden sich die beiden Größen Masse und Ruheenergie nur durch den konstanten Faktor Lichtgeschwindigkeit zum Quadrat (c^2).

Die Masse wird außerhalb der Physik auch als *Gewicht* bezeichnet. Dabei sollte beachtet werden, daß dieses Wort auch für die verwandte, aber nicht identische Bedeutung Gewichtskraft stehen kann.

Lichtgeschwindigkeit

Unter der **Lichtgeschwindigkeit** $c = 299.792.458 \text{ m/s}$ versteht man meist die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Licht im Vakuum. Neben Licht breiten sich auch alle anderen elektromagnetischen Wellen wie auch Gravitationswellen mit dieser Geschwindigkeit aus.“ **Nein. Gravitationswellen gibt es nicht, weil Gravitation eine Kraft ist und nicht der Ausbreitung unterliegt. Nur materielle Strahlung, heißt Energie, kann sich ausbreiten, Gravitation ist keine Energie.** „Sie ist eine fundamentale Naturkonstante, deren Bedeutung in der speziellen und allgemeinen Relativitätstheorie weit über die Beschreibung der elektromagnetischen Wellenausbreitung hinausgeht.“

Eine Gravitationswelle ist eine Welle in der Raumzeit, die durch eine beschleunigte Masse ausgelöst wird.“ **Das ist einer der massivsten Irrtümer der gegenwärtigen offiziellen Physikauffassungen. Hierin wird die Gravitation als materielles Objekt behandelt, das sie nicht ist.** „Gemäß der allgemeinen Relativitätstheorie breitet sich jegliche Wirkung“ - nicht jegliche Wirkung, sondern jegliche Materiebewegung. **Eine Kraftwirkung ist immer instantan, man kann ihre eine Bewegung nicht zuordnen. - „maximal mit Lichtgeschwindigkeit aus. Auch lokale Änderungen im Gravitationsfeld können sich also nur mit endlicher Geschwindigkeit ausbreiten.“ Das ist im Grundsatz falsch. „Daraus folgerte Albert Einstein 1916 die Existenz von Gravitationswellen.“ Hier irrte Einstein, weil auch er die Gravitation als ein materielles Objekt behandelt. Dieser Irrtum hat in der offiziellen Physik bis heute Bestand, offenbar weil niemand bereit ist, den einsteinschen Fehler kritisch zu analysieren. „Diese verursachen während ihrer Ausbreitung durch den Raum vorübergehende Stauchungen und Streckungen von Abständen, also auch des Raumes selbst.“ In dieser Formulierungsweise erkennt man die gesamte Misere der gegenwärtigen offiziellen Physikauffassungen. Nicht nur der Gravitation wird „Ausbreitung“ unterstellt,**

auch der Raum wird als materielles Objekt betrachtet, das sich ausdehnen, bewegen, drehen, krümmen usw. kann. Häufig wird in Definitionen der Raum als „Behälter“ beschrieben, in dem sich die Materie „befindet“. Somit wäre dann auch ein Raum ohne Materie denkbar.

„Da sich in der newtonschen Gravitationstheorie Veränderungen der Quellen des Gravitationsfeldes ohne Verzögerung im gesamten Raum auswirken, kennt diese keine Gravitationswellen.“ Es wird so dargestellt, als sei das nicht richtig. Jedoch wird nicht nur bei Newton die Gravitation als instantan erkannt, sondern auch bei Maxwell, Mach, Weber, Assis und zahlreichen anderen Physikern der Vergangenheit und der Gegenwart. Alle diese begründeten und zumindest theoretisch nachgewiesenen Auffassungen werden in der gegenwärtigen Physik vollständig ignoriert.

2. Welt der Physik

<http://www.weltderphysik.de/gebiet/atome/news/2014/licht-zu-materie/>:

„Wie sich Licht in Materie umwandeln läßt.

1934 beschrieben die Physiker Gregory Breit und John Wheeler eine Teilchenreaktion, in der aus zwei aufeinandertreffenden Photonen ein Elektron und sein Antiteilchen, das Positron, entstehen. Dieser Prozess konnte bis heute nicht in dieser Form beobachtet werden. Nun entwickelten Forscher vom Imperial College in London ein neues, bislang allerdings nur theoretisches Konzept für ein Experiment, in dem sich Licht in Materie umwandeln ließe. Ihre Ergebnisse veröffentlichten sie in der Fachzeitschrift *Nature Photonics*.“

„Laut Albert Einstein läßt sich Masse in Energie umwandeln und umgekehrt. Will man neue Teilchen erzeugen, muß die eingesetzte Energie mindestens so groß sein wie die Masse der neuen Teilchen – der exakte Wert läßt sich mit Einsteins berühmter Formel berechnen.“

Das ist falsch. Masse läßt sich nicht in Energie „umwandeln“ und zurück. Einstein hat dazu eine sehr widersprüchliche Aussage gemacht, die unter 5. *Grundlagen* zitiert ist. Darin spricht er über die Umwandlung von Masse in Energie und zurück, spricht aber im selben Absatz von ihrer Äquivalenz. Es ist jedoch nur eines von beidem logisch möglich. Sind zwei Dinge äquivalent, kann nicht eines ohne das andere vorhanden sein. Also kann auch nicht eines zugunsten des anderen aufgehoben werden. Die analytische Betrachtung der Äquivalenzgleichung stützt diese Feststellung. $E/m = c^2$ sagt aus, das Verhältnis von Energie zu Masse ist konstant. Würde man die genannten Umwandlungen als möglich ansehen, wäre die Summe *Masse + Energie* konstant. Warum Einstein diesem Irrtum unterlag, ist nicht eindeutig geklärt; verschiedene Autoren versuchen es auf seine teilweise autistischen Züge zurückzuführen. Die Unmöglichkeit der Umwandlung von Masse in Energie und zurück ist genauer beschrieben in <http://hauptplatz.unipohl.de/Wissenschaft/MasseEnergieFehler1.htm>.

„Oliver Pike und seine Kollegen überlegten sich nun, in welchem experimentellen Aufbau man Lichtquanten mit den nötigen Energien bereitstellen könnte. „Die experimentelle Umsetzung wäre schon lange möglich gewesen, aber bisher ist einfach noch niemand auf diese Idee gekommen“, sagt Koordinator Felix Mackenroth vom Max-Planck-Institut für Kernphysik.

Zunächst, so das Ergebnis, müsse man Elektronen auf eine Goldfolie schießen. Durch die Zusammenstöße mit den Goldkernen werden die Elektronen stark abgebremst und geben ihre Energie in Form von Photonen wieder ab, die eine Milliarde Mal energiereicher sind als sichtbares Licht. Diese Strahlung könne man in einen speziellen, mit einem Laser aufgeheizten Behälter leiten, in dem sich ebenfalls Photonen befinden. Treffen die energiereichen Lichtteilchen auf ein Photon in dieser Kammer, entsteht direkt ein Elektron-Positron-Paar, ohne dass zwischendurch andere massebehaftete Teilchen entstehen, wie es in anderen bereits realisierten Experimenten geschieht. Um diese Elektronen und Positronen zu trennen und nachzuweisen, wollen die Wissenschaftler ein Magnetfeld verwenden.“ In dieser Erklärung ist keineswegs die Aussage enthalten, daß Energie in Masse „umgewandelt“ worden ist. Es ist ganz einfach die äquivalente Masse der energiereichen Photonen, die im Elektron-Positron-Paar erscheint. Es ist keine Energie in Masse umgewandelt worden. Die Masse war schon da, sie hat nur ihren Ort verändert. Nun muß lediglich das Elektron-Positron-Paar sofort getrennt werden. Gelingt das nicht, wird der Entstehungsvorgang unverzüglich rückgängig gemacht: Positron und Elektron vereinigen sich wieder unter Abstrahlung eines Photons.

3. Till-Meyenburg-Seite

http://www.die-absolute-theorie.de/wiki/Umwandlung_von_Masse_in_Energie:

„Es ist eigentlich falsch, dass ich in dieses Wiki mit der Überschrift Umwandlung von Masse in Energie einen Beitrag einstelle, weil diese gibt es nicht. Vielmehr geht es in diesem Bereich um die Widerlegung selbiger.

Sowohl bei der Kernspaltung, als auch bei der Kernfusion wird aber eine solche Umwandlung angenommen, bekannt als der Massendefekt. Das kann aber aus der absoluten Geltungsweise von $E = m \cdot c^2$ nicht gelten, untermauert von der Äquivalenz von Raum und Zeit. Dementsprechend gilt der Massenerhaltungssatz und demnach kann Masse nicht einfach verloren gehen. Die Theorie des Massendefekts rührt aus einer falschen Interpretation der Gleichung $E = m \cdot c^2$. Diese wird so interpretiert, dass wenn ich eine Masse 1 habe und eine Reaktion, dann wird diese Masse 1 in eine Energie 1 umgewandelt. Mathematisch komplett falsches Grundwerkzeug.“

Hier wird die Theorie richtig dargestellt, und im Ansatz wird die These über die Umwandlung von Masse in Energie und umgekehrt zu widerlegen versucht.

„Mathematisch wäre, wenn Masse in Energie umgewandelt werden sollte, die Gleichung $E + m = const.$ vielmehr richtig, natürlich im geschlossenen System. Diese gilt natürlich auch, bleiben doch Energie und Masse nach dem Energieerhaltungssatz und nach dem Massenerhaltungssatz erhalten, folglich gilt im geschlossenen System $E + m = const. + const. = const.$ “

Richtig. Eine solche Gleichung gibt es nämlich nicht. Sie kann nur entstehen, wenn angenommen wird, von Masse oder Energie könne die eine Entität zugunsten der anderen aufgehoben werden. Denn nicht $E + m = const.$, sondern $E/m = const = c^2$. So ist also der Energieerhaltungssatz dem Massenerhaltungssatz äquivalent. Mit dem einen ist auch das andere gemeint. Mithin ist die Trennung fiktiv. Auch aus anderem Grund kann man Masse und Energie nicht addieren. Ich verweise hier auf meine Beweisführung unter <http://hauptplatz.unipohl.de/Wissenschaft/MasseEnergieFehler1.htm>.

„Soweit so gut, allerdings ist es nicht so, dass man daraus wie teilweise im englischen Wikipedia schließen kann, dass Masse in Energie umgewandelt werden kann und möglicherweise umgekehrt. Betrachten wir die Gleichung genau. Hier hilft wieder die vollständige Induktion:“

„Betrachten wir den Fall, dass die Energie = 1 und die Masse = 1 ist, nur so ist $E = m \cdot c^2$ erfüllt, natürlich c nach dem Einheitssystem wieder mit 1 gleichgesetzt. Jetzt, unser erster Induktionsschritt, wird die Masse um 1 erniedrigt und umgewandelt in eine Energie, die dann 2 beträgt. Tragen wir diesen in die Gleichung $E = m \cdot c^2$ ein. Und sehen, dass gelten soll: $2 = 0 \cdot 1 = 0$. 0 ist aber nicht 2, dementsprechend liegt hier ein Widerspruch vor und dementsprechend fällt schon unser erster Induktionsschritt durch.“

Auch so kann man es zeigen. Jedoch wird dann in den Schlußfolgerungen die Behauptung aufgestellt:

„Durch das Beweisverfahren durch Widerspruch gilt: Folglich kann Masse nicht in Energie umgewandelt werden und auch nicht umgekehrt. Sie sind vielmehr zwei Abbildungen einer Tatsache. Die Theorie des Massendefekts ist komplett falsch.“

Das ist unkorrekt. Durch Strahlungs- oder Teilchenprozesse wird von den beteiligten Massen Energie abgestrahlt oder es wird Energie zugeführt. Wegen der Masse-Energie-Äquivalenz wird dem Prozeß damit Masse entzogen oder zugefügt. Sie ist nicht verschwunden, sondern an einem anderen Ort. Der Massendefekt ist somit in dem Sinne real, daß an einem Ort Masse vergrößert oder verkleinert wird, ohne zu betrachten, daß die Masse nun den Ort der Betrachtung verlassen hat oder dort hinzugefügt wurde.

Am Ende beschreibt der Autor auch ein Gedankenexperiment, daß so ähnlich auch in meinem Betrag <http://hauptplatz.unipohl.de/Wissenschaft/MasseEnergieFehler1.htm> zu finden ist:

„Man kann auch durch ein Gedankenexperiment beweisen, dass die Umwandlung von Masse in Energie falsch ist. Physikalische Gleichungen sind wie gesagt nicht so aufgebaut wie chemische Reaktionsgleichungen. Man stelle sich ein Universum vor, in dem die Stromstärke konstant wäre. Denkbar ist ein solches Universum und damit tut es einem Gedankenexperiment Genüge. In diesem Universum wäre unser $U = R \cdot I$, also das Ohmsche Gesetz, ein Gesetz der Form $U = c_1 \cdot R$. Würde das nun bedeuten, dass Spannung in Widerstand umgewandelt wird und umgekehrt? Nein! Beim Widerstand 10, hätten wir die Spannung 10, wenn man c_1 nach Einheitssystem 1 setzt. Jedem wäre klar, dass nicht beim Widerstand 0 die Spannung 10 wäre und bei dem Widerstand 10 wäre die Spannung auch nicht 0. Widerstand erzeugt Spannung und Widerstand mal Stromstärke ist Spannung. Auch hier findet eine Umwandlung nicht statt. Das gilt für sämtliche physikalischen Gleichungen. Dementsprechend sind Masse und Energie gleich, - nicht gleich – äquivalent, das ist etwas anderes - getrennt von der Konstanten c , aber nicht identisch.“

An anderer Stelle findet man aber bei Till Meyenburg Auffassungen, die mit einer materialistischen Denkweise sehr befremdlich erscheinen. Ich gebe nachfolgend drei Zitate, die ich unkommentiert lasse, da ihre völlige Verworrenheit ins Auge fällt.

„Es gilt nach vollständiger Induktion $v = c$. Man kann auch sagen, die Geschwindigkeit ist immer gleich der Lichtgeschwindigkeit, auch wenn wir hierfür den Geschwindigkeitsbegriff umändern müssen. v beschreibt bisher immer nur die Fortbewegungsgeschwindigkeit in der Physik, manchmal benutzte ich es aber synonym mit der Gesamtgeschwindigkeit, die mehr als die Fortbewegung ist. Dazu später

mehr. Da *Geschwindigkeit = Raum / Zeit* ist, gilt $s = t \cdot c$ oder auch $s = t$, wenn man das Einheitssystem der Planck Einheiten benutzt. Man sieht, dass wie bei $E = m \cdot c^2$ die Division immer 1 ergibt. Raum und Zeit entwickeln sich in der gleichen Weise. Sie sind äquivalente Begriffe. Es gibt aber auch die [Überlichtgeschwindigkeit](#) der Fortbewegung.“

„Nun kann man kritisch bemerken, dass sich nicht alles relativ von mir mit c bewegt, dass würde man doch sehen. Ja, das ist ein Trugschluss. Auf jeden Fall gilt $v = c$ absolut. Man muss unterscheiden zwischen Fortbewegungsgeschwindigkeit und der Geschwindigkeit, die den gleichen Raum mehrfach überstreicht wie Rotation oder auch Frequenz. Diese setzen sich nach Pythagoras wie folgt zusammen: $v(\text{rot})^2 + v(\text{for})^2 = v^2$. So viel ist klar. Also ergibt sich $v = \text{sqr}(v(\text{rot})^2 + v(\text{for})^2) = c$. Jeweils gilt die Abkürzung *rot* für die Geschwindigkeit, die mehrere Orte überstreicht und *for* für Fortbewegung. Hier ergibt sich auch eine wundervolle Vereinfachung für Einsteins relativistische Wurzel. Die relativistische Wurzel, auch heutzutage Gammafaktor genannt, ist $\text{sqr}(1 - v^2/c^2)$. Wenn man das erst mit c erweitert, also $\text{sqr}(c^2)$, ergibt sich der Ausdruck $\text{sqr}(c^2 - v^2)$. dies ist letztlich aber nur ein anderer Term für unsere obige Gleichung mit $v(\text{rot})$ und $v(\text{for})$. Es ergibt sich, dass dieser Ausdruck zu $\text{sqr}(v(\text{rot})^2)$ wird. Dann ist die relativistische Wurzel mit c erweitert nix anderes als unsere mehrere Orte überstreichende Geschwindigkeit $v(\text{rot})$. Damit kann man viele Gleichungen Einsteins erheblich vereinfachen (siehe auch den Hauptaufsatz [Relativistische Wurzel](#)).“

„Wie geht nun die absolute Theorie mit Überlichtgeschwindigkeiten um. Es gibt die Äquivalenz von Raum und Zeit und die dazugehörige Gleichung, dass $v = c$ ist, also jegliche Geschwindigkeit immer gleich der Lichtgeschwindigkeit ist. Allerdings wird hier auch darauf hingewiesen, dass man zwischen Frequenz- ($v(\text{rot})$) und Fortbewegungsgeschwindigkeit ($v(\text{fort})$) unterscheiden muss. Nach dem Satz des Pythagoras gilt $c^2 = v(\text{rot})^2 + v(\text{fort})^2$ oder auch, wenn man v als einzige Geschwindigkeit sieht: $(f / f(\text{max}) \cdot c)^2 + v = c^2$. So, nach der Gleichung ist, wenn die Frequenzgeschwindigkeit $v(\text{rot}) = 0$ ist, die Fortbewegungsgeschwindigkeit $v(\text{fort})$ von c erreicht. Was ist aber jetzt, wenn die Frequenz imaginär wird und die Potenz negativ wird. Genau dann können Überlichtgeschwindigkeiten erreicht werden, und zwar in der Fortbewegung. Also wenn die Enterprise imaginär rotiert oder sonst wie auf eine imaginäre Frequenz kommt, dann kann sie sich auch mit Überlichtgeschwindigkeit fortbewegen.“

Zu diesen 3 Zitaten ist ganz sicher kein Kommentar vonnöten. Würde man eine Analyse versuchen, scheiterte man bereits an der Aufgabe, einen Einstiegspunkt zu finden. Es fehlen alle Denkstrukturen, die sich an der Realität orientieren. Der Bezug zur Wissenschaft ist verloren gegangen. Die Darstellungen verbreiten den Ruch intellektueller Spinnerei. Der Titel des Internetportals „Die absolute Theorie“, in der der Autor unter anderem auch eine Weltformel propagiert, unterstützt diese Vermutung. Schade. Am Anfang gab es logisch richtige Ansätze.

4. Marc Gänslers Drillingsraum

<http://www.drillingsraum.de/room-emc2/emc2.html>:

„Energie kann in Masse umgewandelt werden und umgekehrt. Mit den Begriffen muss man hier ein wenig aufpassen, denn in der Masse ist ja schließlich diese ursprüngliche Energie immer noch vorhanden. Sie ist also nicht weg, sondern hat lediglich eine andere Erscheinungsform angenommen. Wenn man wissen möchte, wieviel Meter ein Kilometer hat, benutzt man den Umrechnungsfaktor 1000. Wenn man wissen will, wieviel Energie in einer bestimmten Materiemenge steckt, benutzt man den „Umrechnungsfaktor“ Lichtgeschwindigkeit zum Quadrat.“ **Der Analogieversuch ist unzutreffend. Er vergleicht zwei völlig verschiedene Dinge. Aber etwas anderes zeigt sich als widersinnig: Energie „steckt“ in einer Materiemenge, Energie gehört also nicht zur Materie, sie „steckt“ nur drin? Hier erkennt man den unklaren Materiebegriff, dem der Autor unterliegt.** „Genau das sagt die Formel aus: Energie ist das gleiche wie Masse multipliziert mit dem "Umrechnungsfaktor" Lichtgeschwindigkeit zum Quadrat.“ **Nun ist es wieder die Masse, die mit c^2 multipliziert Energie ist. Über einen exakten Materiebegriff verfügt der Autor also nicht.** „Die Lichtgeschwindigkeit ist natürlich kein einfacher Umrechnungsfaktor, aber dieses Beispiel sollte einfach nur eine kleine Vorstellung davon geben, wie Masse und Energie miteinander zusammenhängen.“

In diesem Absatz wird der erste Satz durch die nachfolgenden widerlegt.

„ $E=mc^2$: Materie als geronnene Energie“

Diese offenbar ungenaue Wiedergabe der Umschreibung von Prof. Harald Lesch für die Energie (wenigstens sagte er noch: Masse sei geronnene Energie, aber diese Unterscheidung kennt der Autor nicht) ist in jeder der beiden Formulierungen untauglich. Die Äquivalenz von Masse und Energie bedeutet nicht, daß eines ein Aggregatzustand des anderen sei oder eines im anderen „enthalten“ sei oder das eines in das andere überführt werden könne. Nein, sie sagt aus, das es das eine nicht ohne das andere geben kann und beschreibt den rechnerischen Zusammenhang zwischen beidem. Die

Formulierung des Autors bestätigt aber erneut, daß er die Energie nicht für Materie hält. Dann aber könnte sie nicht der Masse äquivalent sein.

Aber jetzt mal von vorn. Wie kann man sich das denn vorstellen, Energie und Materie können ineinander umgewandelt werden?“ Das braucht man sich gar nicht vorzustellen, denn Energie ist Materie, man kann sie also gar nicht in Materie umwandeln. Was wird nun aus der Vorstellung, sollte das erkannt werden? „Wie ist das gemeint, dass Energie und Materie zwei Erscheinungsformen eines übergeordneten Gebildes sind?“ Nun scheitern wir völlig. Es gibt also noch eine zur Materie übergeordnete Entität? Was mag das wohl sein – ein Etwas, in dem die Materie drin ist? Man kann hier ganz allgemein feststellen, daß ein solches Durcheinander der Ideen eindeutig auf der Unkenntnis des Materiebegriffes beruht, der Autor verwendet ihn, ohne zu wissen, was er beinhaltet. Damit steht er aber unter den Physikern nicht allein. Ein Wikipedia-Mitarbeiter, Aliasname mfb, Klarname nicht aufklärbar, erklärte mir dereinst: „Es wird sich aber kaum ein Physiker auf längliche Diskussionen einlassen, was genau nun unter dem Begriff ‚Materie‘ zu verstehen sei. Wer genau sein will, nutzt ohnehin andere Begriffe.“ Heißt also, was Materie ist, brauchen wir nicht zu wissen. Oder wie manche es ihren Kindern sagen: Laß es sein, du verstehst es so wie so nicht. Eine solche Haltung bedarf keiner Erklärung mehr. „Um die beiden Fragen zu klären, stelle man sich mal ein kleines Wassermolekül vor, besser gesagt einen ganzen Haufen davon. Diesem Haufen machen wir jetzt mal richtig Dampf: wir erhitzen ihn solange, bis er eine gasförmige Struktur annimmt, eben zu Wasserdampf wird. Dieser Dampf soll jetzt nach oben strömen und dort auf eine kalte Glasplatte treffen. Durch die Kälte kondensiert der Dampf, unterhalb der Glasplatte bilden sich Wassertröpfchen.“ Das Beispiel ist unbrauchbar, allenfalls geeignet, einem Schüler des ersten Schuljahres einen Vorgeschmack zu geben, was ihm später dann im Physikunterricht begegnen soll. So fährt der Autor nun fort mit seinem Wasserdampfvergleich und gipfelt am Ende in den Fragen „Wann wird Materie zu Energie?“ und „Wann wird Energie zu Materie?“, zwei Fragen, für die sich nun nach dem oben Gesagten die Antworten von selbst erledigt haben. Das ganze Portal basiert auf verworrenen und unklaren Darstellungen, die eine wissenschaftliche Logik vermissen lassen.

5. $E = mc^2$ – Die Grundlagen

<http://www.emc2-explained.info/G/Emc2Grundlagen/#.V4EgJBK8qSU>:

Offenkundig eine Übersetzung aus dem Englischen von R. Bleckmann, die Autoren sind nicht genannt. Die Seite ist sehr langatmig und weitschweifig, eben für Einsteiger angefertigt. Sie enthält viele Unklarheiten und unexakte Darstellungen. Es sollen hier deshalb nur einzelne Zitate herausgestellt werden, die das belegen.

„Es gibt noch viele andere Formen von Energie, so z.B. elektrische Energie, Gravitationsenergie, Atomenergie oder auch die potentielle Energie. Jedoch, so unterschiedlich uns diese Arten der Energie auch erscheinen, - sie alle können auf die gleiche Art und Weise gemessen werden und gedanklich als ein und dasselbe behandelt werden.“ Und auch hier auf dieser Seite wird die Gravitation zur Materie erhoben. Den Begriff *Gravitationsenergie* gibt es in der Physik nicht, denn Gravitation ist eine Kraft, keine Energie.

„Ein Hinweis: Die Etikettierung von Nahrungsmittelprodukten in Europa bezieht sich meistens auf kJ, das bedeutet Kilojoule (Kilo = 1000, also 1000 Joule) oder auf Kilokalorien (kcal), also 1000 Kalorien, während in den USA einfach nur "calories" or "Calories" ohne den Zusatz "Kilo" ausgewiesen sind. Trotzdem ist damit ebenso die Kilokalorie, also 1000 Kalorien gemeint. Um die Konfusion noch weiter zu treiben, darf mittlerweile auch in Europa der Begriff "Kalorien/Calories" benutzt werden obwohl es sich eigentlich um "Kilokalorie" handelt.“ Das werde ich hier als einen sehr nützlichen Hinweis für die tägliche Praxis. Er trägt dazu bei, Verwirrungen und Irrtümer einzugrenzen. Hat aber mit dem Thema nichts zu tun. Wenn man nun noch gesagt hätte, daß $1 J = 1 Nm = 1 kg \cdot m^2/s^2 = 1 Ws$ ist und $1 cal = 4,1868 J$ ist, wäre der Nutzen noch erhöht worden.

Die nachfolgenden Erklärungen für Masse und Lichtgeschwindigkeit sind korrekt und bereichern durch Zahlenbeispiele und interessante Einzelheiten, die geeignet sind, Vorstellungen für Größenordnungen und Zusammenhänge zu verdeutlichen.

Dann aber ist folgendes zu lesen:

„Die Gleichung sagt uns das Masse und Energie das Gleiche sind und wie viel Energie in einer bestimmten Masse vorhanden ist oder umgekehrt. In anderen Worten - Masse ist eigentlich nur sehr dicht gepackte Energie.“ Hier findet man also, die gleichen Fehler, die auch schon in den vorangegangenen Beiträgen festgestellt worden sind. „Das Masse und Energie das Gleiche seien ist eine außerordentliche Behauptung und es scheint als widerspricht diese Behauptung gleich zwei Gesetzen die wissenschaftlich anerkannt waren bevor Einstein auf der Bildfläche erschien.“ In der Tat ist es ja auch nicht das Gleiche, weiter oben wurde das schon ausführlich behandelt. Aber wie soll eine grund-

lagenvermittelnde Internetseite damit umgehen, wenn dies selbst bei autorisierten Wissenschaftsportalen, wie zum Beispiel Wikipedia, unklar ist.

„Was Einstein durch seine nun berühmte Gleichung zeigte war, dass Masse und Energie tatsächlich ein und dasselbe sind.“ **Das ist nicht richtig.** „Eine Umwandlung von dem einen in das andere ist daher keine Verletzung eines der beiden Erhaltungssätze. Beide Größen bleiben erhalten, obwohl der Zustand der Masse/Energie sich eventuell geändert hat.“ **Wenn ich an dieser Stelle „Zustand der Masse/Energie“ als Verhältnis interpretiere, ist es falsch, denn $E/m = \text{const.}$ Das Verhältnis ändert sich nicht.** „Man kann sich jedes Atom einer Substanz als einen kleinen Ball aus extrem dicht gepackter Energie vorstellen. Diese Energie kann unter bestimmten Umständen freigesetzt werden. Ebenso können wir Energie nehmen (z. B. Photonen) und diese Energie in Masse umwandeln. Dieses wurde erstmalig in den 1930er Jahren erreicht.“ **„Erreicht“ wurde es nicht. Und das wird es auch nicht. Dieser Energie“umwandlungs“gedanke wird nur von Leuten vertreten, die keinen klaren Materiebegriff haben. „Freisetzen“ von Energie kann nicht so verstanden werden, daß damit die äquivalente Masse nicht mehr vorhanden ist.**

„Man kann davon ausgehen, dass Einstein einen großen Teil seines Lebens damit verbracht hat diese Gleichung zu erklären. Es gibt einige wenige Tonaufnahmen dieser Erklärungen. Die Aufnahmen sind alt und von schlechter Qualität. Das - zusammen mit Einsteins Akzent - macht es schwer diese Aufnahmen zu verstehen. Hier ist eine übersetzte Niederschrift einer dieser Aufnahmen.

Es folgert aus der Speziellen Relativitätstheorie, dass Masse und Energie beide nur Manifestationen der gleichen Sache sind - ein Konzept das einigermaßen ungewöhnlich für den durchschnittlichen Geist ist. Weiterhin zeigt die Gleichung $E \text{ ist gleich } mc^2$, in welcher Energie gleichgesetzt wird mit Masse, multipliziert mit der Lichtgeschwindigkeit im Quadrat, dass sehr kleine Mengen an Masse in sehr große Mengen an Energie umgewandelt werden können und umgekehrt. Die Masse und Energie waren tatsächlich äquivalent, entsprechend der zuvor erwähnten Formel [$E=mc^2$] Dieses wurde experimentell bewiesen durch Cockcroft und Walton im Jahre 1932.“

Wenn ich davon ausgehe, daß die schriftliche Wiedergabe einer solchen Tonaufnahme unzweifelhaft ist, so kann man erkennen, daß selbst Einstein die Folgen der Masse-Energie-Äquivalenz nicht in voller Tragweite erfaßt hatte. Beim Cockcroft-Walton-Experiment geht es um den Beschuß von Lithium-Atomen mit Protonen einer Energie von 300 keV, der in einer Kernreaktion unter Freisetzung von 17 MeV Energie zur Aussendung von 2 Alpha-Teilchen führte, damals Kernzertrümmerung genannt. Offenbar hat Einstein dies als Umwandlung von Masse in Energie interpretiert. Dabei muß man aber zwei Dinge berücksichtigen: 1. gab es zu dieser Zeit den heute entwickelten Materiebegriff noch nicht und 2. wurde festgestellt, daß Einstein in begrenztem Maße autistische Eigenschaften hatte.

6. $E = mc^2$ – Ableitung der Gleichung

<http://www.emc2-explained.info/G/Emc2Ableitung>:

Es ist eine andere Seite desselben Portals wie 5. Auch auf dieser Seite ist kein Autor benannt, sie ist anonym. Aus gutem Grund, wie der Leser gleich sehen wird. Zitate:

„Nuklearwaffen (A- und H-Bomben) sind nach dem Prinzip gebaut das Masse in Energie umgewandelt werden kann. Und die Gleichung, durch welche dieser Vorgang der Umwandlung exakt beschrieben wird lautet $E = mc^2$.“

„Soweit, so gut, nur was hat das mit der speziellen Relativitätstheorie zu tun?“

„Die Antwort ist das eben diese Formel eine direkte Ableitung aus der speziellen Relativitätstheorie ist! Wenn nun die spezielle Relativitätstheorie falsch wäre, dann würden die auf deren Ableitung basierenden Nuklearwaffen schlicht nicht funktionieren. Jede Theorie oder Behauptung welche der speziellen Relativitätstheorie widerspricht muss also beweisen woher diese, erwiesenermaßen korrekte Gleichung $E = mc^2$ stammt, - wenn nicht von der speziellen Relativitätstheorie.“

„Eine der Folgerungen der speziellen Relativitätstheorie ist das mit steigender Geschwindigkeit scheinbar die Masse zunimmt. Um so schneller sich ein Objekt bewegt um so "schwerer" scheint es zu werden.“

Das alles sind Auslassungen, die wenig Kenntnisse und unterentwickelte Logik offenbaren. Beim Weiterlesen sträuben sich dann aber völlig die Rückenhaare. Was da an Wissenschaftlichkeit geboten wird, ist Scharlatanerie, und Orthographie und Grammatik runden das Bild ab. Aber dem Autor kann ja nichts passieren, er schreibt ja anonym.

Ein Verweis auf <http://www.emc2-explained.info/G/Spezielle-Relativitatstheorie> soll die Grundlagen der speziellen Relativitätstheorie erklären. Die Seite ist aber offenbar vom gleichen Autor. Sie erklärt nichts. Auch die fortwährend eingefügten englischen Vokabeln erhöhen den Wissenschaftsgehalt des Beitrags nicht.

Hat der Autor ein Problem mit dem Begriff *Bezugssystem*? Er nennt es *Referenzrahmen*. Sehr eigenwillig. Man braucht eine gewisse Lesezeit, um zu erkennen, was gemeint ist. An bestimmte terminologische Grundsätze sollte man sich schon halten, wenn man verstanden werden will.

Der Autor hat die Seite überschrieben mit „ $E = mc^2$, Ableitung der Gleichung“. Die Ableitung sucht man jedoch vergeblich.

7. Abenteuer Universum

<http://abenteuer-universum.de/einstein/energie.html>:

Der Titel des Portals verrät schon die grundsätzlichen Unklarheiten: „Die Äquivalenz von Energie und Materie“. Was Materie ist, ist dem Autor also unbekannt. Dann folgen weitere Grundirrtümer:

„Die Masse eines Körpers lässt sich aufteilen in die *schwere* und die *träge* Masse.“ **Aufteilen?** „Die schwere Masse ist diejenige der Ruhelage, die träge Masse ist die bewegte. Allerdings unterscheiden wir heute nicht mehr, wie weiter unten noch zu sehen, träge und schwere Masse, sondern sprechen lediglich von der Ruhemasse eines Körpers.“ **Solch eine Untergliederung gibt es in keinem Physikbuch. Und die Zusammenfassung der „Teile“ der Masse (träge und schwere) zur Ruhemasse ist auch im Argen. Die Logik ist merkwürdig: Wenn die träge Masse die bewegte ist, wie ist sie dann gleichzeitig Teil der Ruhemasse? Man sieht ganz deutlich: Was Masse ist, weiß der Autor auch nicht.**

„Egal, in welcher Form man die Energie auch sieht, eines bewirkt sie immer: sie ist eine Quelle von Gravitationsfeldern. Wir haben jetzt ja erkannt, dass Masse und Energie im Grunde dasselbe sind.“ **Haben wir? Ich nicht.** „Da von Masse eine Gravitationswirkung ausgeht, gilt dies auch für die Energie.“ **Ja, wenn's denn dasselbe ist (!) In dieser logischen Kette ist aber der Anfang falsch. Meine Logik ist ebenso einfach: Aus falschen Anfangsangaben entsteht kein richtiges Ergebnis.**

„Albert Einstein hat sich überlegt, dass man Experimente in einem ruhenden und einem beschleunigten System durchführen kann, und man in jedem Fall zum gleichen Ergebnis kommen muss. Als Beispiel dachte er an ein Labor auf der Erde und eins in einem Raumschiff. In beiden ist an der Decke eine (supergenaue) Federwaage aufgehängt, an denen ein Körper von jeweils genau gleicher Masse befestigt ist. Nun wird dieser Körper mit je einem Photon beschossen, welches von ihm absorbiert wird. Die Rakete wird ja in Richtung Boden-Decke mit g beschleunigt, so dass die Waage eine Kraft $m \cdot g$ (Masse mal Beschleunigung) anzeigt.

Das Photon mit der Energie ΔE wird nun absorbiert, so dass die Raumschiffwaage eine Zunahme der trägen Masse um den Betrag $\Delta E/c^2$ registriert, die angezeigte Kraft ist dann $(m + \Delta E/c^2)g$.

Die Physiker im Erdlabor lesen an ihrer Waage genau dieselbe Kraft $(m + \Delta E/c^2)g$ ab, nur dass hier nicht die träge Masse, sondern das *Gewicht* des Körpers um den Betrag $\Delta E/c^2$ zugenommen hat.“

Die Darstellungen sind bis hierher einigermaßen korrekt, sieht man einmal vom „Gewicht des Körpers“ ab. Nun aber beginnen weitere Probleme:

Was soll uns dieses Gedankenexperiment zeigen? Ganz einfach, wie schon eingangs angedeutet, dass schwere und träge Masse und auch Energie ein und dasselbe sind!“ **Würde man aus diesem Satz die Energie herauslassen, wäre alles richtig. Das Äquivalenzprinzip von schwerer und träger Masse beruht ja darauf, daß Schwere- und Beschleunigungsfeld identisch sind. Das leuchtet ein, weil die Gravitation, die zur Schwere führt, ihrem Charakter nach eine ebensolche Kraft ist, wie die Antriebskraft der Rakete, die eine Beschleunigung bewirkt. Deshalb sind ihre Wirkungen auf Massen dieselben. Falsch ist aber die Gleichsetzung der Energie mit der Masse. Beide sind nicht gleich, sondern äquivalent. Wären sie gleich, könnte man wohl das eine in das andere überführen. Die Äquivalenz sagt aber aus, daß ihr Verhältnis konstant ist ($E/m = c^2 = const$). Das aber ist etwas anderes als eine Gleichheit.** „Die Energie wird oben ja als Photon symbolisiert, durch deren Absorption der Körper tatsächlich an Masse zunimmt. Das führt letztendlich zu der Aussage, dass Energie und Materie dasselbe sind,“ **eben nicht, und wiederum wird die Materie mit der Masse durcheinandergebracht: Energie ist Materie, aber keine Masse. Sie ist der Masse äquivalent, denn Masse und Energie sind zwei Erscheinungsformen der Materie, die nur zusammen vorhanden sein können, weil ihr Verhältnis konstant ist.** „was Einstein in seiner wohl weltberühmtesten Formel $E = mc^2$ ausgedrückt hat.

Man kann vielleicht erahnen, welchen ungeheuren Energieinhalt eine Handvoll Materie hat, wenn man die Masse mit dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit (das ist immerhin ein Betrag von rund $9 \cdot 10^{16} \text{ [m}^2/\text{s}^2]$!) multipliziert. Als makabres Beispiel mag die Explosion der Hiroshima-Bombe dienen, bei der nur etwa 1 [g] Materie in Energie umgewandelt wurde.“ **Dieselbe Unklarheit. Materie braucht man nicht in Energie umzuwandeln, Energie ist schon Materie. In der Bombe wurde die Energie, die**

durch die starke Kernkraft in den Kernen gebunden war, freigesetzt, indem die starke Kernkraft überwunden wurde. Damit wurde aber nicht die Masse ausgelöscht, sie ist nach wie vor vorhanden.

Materie kann man sich vorstellen als eine Art "ausgefrorene" Energie. Als unser Universum entstand, bestand es zunächst nur aus Energie, Materie war noch nicht existent. Erst nach Abkühlung des heißen "Urbreis" kondensierte Materie aus. Wir können heute in den großen Teilchenbeschleunigern Einsteins Gesetz beweisen, indem wir auf hohe Energien aufgeladene Kernteilchen aufeinander prallen lassen, wobei neue Teilchen entstehen. Andersherum kann man sie auch wieder zu Energie zerstrahlen. Das Leben auf unserem Planeten ist nur möglich, weil die Sonne in ihrem Kern bei der Wasserstoff-Fusion einen wenn auch nur geringen Teil der Materie in Energie zerstrahlt. Noch viel besser können Schwarze Löcher in ihren Akkretionsscheiben Materie in Energie umwandeln, der freigesetzte Energiebetrag kann bis zu 40% der Ruhemasse betragen.

Einsteins Theorien zeigen uns aber noch mehr: Wir werden (weil wir aus Materie sind) niemals die Lichtgeschwindigkeit erreichen. Wie im obigen Beispiel gesehen, führt jede einem Körper zugeführte Energie zu einem scheinbaren Anstieg der Masse. Der zum Erreichen dieser Geschwindigkeit erforderliche Energiebetrag würde gegen Unendlich gehen, und damit auch die (träge) Masse unendlich groß werden. Besser gesagt: Die kinetische Energie des Teilchens oder Körpers steigt ins Unendliche an (die Ruhemasse bleibt ja unverändert). Selbst ein so leichtes Teilchen wie ein Elektron kann deshalb niemals Lichtgeschwindigkeit erreichen, geschweige denn eine Rakete. Im gesamten Universum gibt es keine Energiequelle, mit der ein Teilchen auf unendlich hohe kinetische Energie aufgeladen werden könnte.“

Viele unhaltbare Darstellungen (Unterstreichungen): Reine Energie ohne Masse gibt es nicht. Das Universum ist nicht entstanden, es existiert ewig in der Zeit und unendlich im Raum. Die Materie kann also nicht „entstanden“ oder „auskondensiert“ sein. Einen heißen „Urbrei“ gab es nicht. Die Gegenüberstellung Materie – Energie ist unhaltbar. Die Sonne „zerstrahlt“ nicht Materie in Energie. Auch in schwarzen Löchern wird keine Materie in Energie „umgewandelt“. Der Massenanstieg eines Körpers bei Energiezuführung ist nicht „scheinbar“. Gravitationswellen gibt es nicht und Gravitation ist auch keine Energie. Die Masse eines Körpers kann nicht in schwere und träge Masse „aufgeteilt“ werden. Sprachliche Unexaktheiten: Masse und Energie seien „dasselbe“.

8. Das Teilchen-Abenteuer

<http://particleadventure.org/german/frameless/collision.html>:

„Wenn Physiker aus Teilchen kleiner Masse Teilchen grösserer Masse herstellen wollen, so stecken sie diese Teilchen in einen Beschleuniger und beschleunigen sie bis sie grosse kinetische Energie (bzw. hohe Geschwindigkeit) erreicht haben. Darauf lassen sie die Teilchen miteinander kollidieren. Während der Kollision wird die kinetische Energie der Teilchen in neue Teilchen umgewandelt. Durch diesen Prozess können wir schwere, instabile Teilchen erzeugen und ihre Eigenschaften untersuchen.

Der Vorgang verläuft so, als ob man Himbeeren frontal zusammenstossen lässt und daraus neue Himbeeren, einige Eicheln, eine Banane, einige Birnen, Äpfel, Nüsse und Pflaumen erhält.“

Kommentar nicht erforderlich. Der Unsinn erklärt sich selbst.

9. ZEIT-Online am 10.10.1997

<http://www.zeit.de/1997/42/materie.txt.19971010.xml>:

Ulrich Schnabel (Die Zeit vom 10.10.1997):

„Kann die Quantenmechanik verstanden werden?“ So fragte programmatisch vor einigen Jahren Nature-Herausgeber John Maddox. "Was die Biologie angeht, so verfügt jeder über Erfahrungen aus erster Hand - vom Fußpilz über die Verdauung bis zur Fortpflanzung. Deshalb kommt diese Wissenschaft in der Presse auch so gut weg", klagte Maddox. Bringe man dagegen auf einer Dinnerparty das Gespräch auf die Quantenmechanik, so bekomme man bestenfalls Antworten wie etwa: Nichts sei so sicher, wie Newton gedacht habe, oder auch, mutig extrapoliert: Überhaupt nichts sei sicher. "Was not tut, sind Experimente, die die Bedeutung dieses Fachgebietes demonstrieren und ins allgemeine Bewusstsein heben", forderte Maddox.

Amerikanischen Physikern ist nun ein solches Experiment gelungen. Zwanzig Wissenschaftler von vier amerikanischen Universitäten wandelten am Linearbeschleuniger in Stanford, Kalifornien, erstmals pures Licht in Materie um, ein Werk, das ein wenig an die Erschaffung der Welt durch göttliche Hand erinnert. Sozusagen aus bloßem Nichts Materie zu erzeugen, das blieb bislang der Bibel oder der Urknalltheorie vorbehalten. Nun ist dieser Schöpfungsakt endlich auch vor Zeugen gelungen.“

Es kann als sicher gelten, daß dies nicht gelungen ist. Was immer man da gemacht haben mag, Materie aus Nichts konnte man gewiß nicht erzeugen. Es gibt viele insbesondere amerikanische Physiker, die sich an der Bibel orientieren. Damit kann man aber, wie man hier sieht, keine Physik betreiben.

10. Physikerboard, Symptoma GmbH

<http://www.physikerboard.de/topic,27493,-herleitung-e%3Dmc%C2%B2.html>:

Auf dieser Seite wird eine Herleitung der Gleichung der Masse-Energie-Äquivalenz gegeben. Es ist das fundierteste, das ich im Netz finden konnte. Mit geringen Korrekturen physikalisch und rechnerisch exakt und auch mit den knappen, aber präzisen Erläuterungen für Ausbildungszwecke verwendbar. Die Autoren zeigen: Physik ist ganz einfach. Und gerade das ist oft schwer zu machen. Die Formelnumerierung habe ich zwecks Bezugnahme eingefügt.

„Also wir haben das so gemacht (Die ganze Herleitung bezieht sich auf die zwei angehängten Bilder): Der Körper absorbiert die Energie E der Photonen. Ein Photon hat also die Energie $0,5 \cdot E$.

Da der Körper von beiden Seiten den gleichen Impuls erfährt, bleibt er in Ruhe. Für den Impuls eines Photons gilt:

$$p_{\text{Photon}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{E}{c} \quad (1)$$

Betrachtet man das ganze nun aus dem System I' so gilt für den Einstrahlungswinkel der Photonen:

$$\sin \alpha = \frac{v}{c} \quad (2)$$

Vor der Absorption gilt für den Impuls:

$$p_0 = m_0 \cdot v \quad (3)$$

Der Impuls eines Photons, der zum Impuls p_0 dazukommt beträgt:

$$p_1 = 0,5 \cdot \frac{E}{c} \cdot \sin \alpha = 0,5 \cdot \frac{E}{c} \cdot \frac{v}{c} \quad (4)$$

Der Gesamtimpuls beider Photonen beträgt somit:

$$p_2 = 2p_1 = \frac{E \cdot v}{c^2} \quad (5)$$

Der Gesamtimpuls des Systems betrug vor der Absorption also:

$$p = p_0 + p_2 = m_0 \cdot v + \frac{E \cdot v}{c^2} \quad (6)$$

Nach der Absorption hat sich die (träge) Masse vergrößert. Somit beträgt der Impuls nun:

$$p = m \cdot v \quad (7)$$

Aufgrund der Impulserhaltung gilt:

$$m_0 \cdot v + \frac{E \cdot v}{c^2} = m \cdot v \quad (8)$$

$$m - m_0 = \frac{E}{c^2} \quad (9)$$

$$E = (m - m_0) \cdot c^2 \quad (10)$$

Hier haben wir den Zusammenhang zwischen Masse und Energie. Daraus haben wir geschlossen, dass Energie- und Massenänderung untrennbar zusammenhängen. D. h.:

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 \quad (11)$$

Durch eine Integration, bei der die Konstanten Null gesetzt werden erhält man:

$$E = m \cdot c^2 \quad (12)$$

So das wars.

Ich finde den Schritt, wie wir auf einmal von $E = (m - m_0) \cdot c^2$ zu $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$ kommen etwas schwammig. Und die Sache mit der Integration auch.“

Richtig. Bereits ab (1) und in der Erklärung davor ist E eine Änderungsgröße der Energie. Folglich müßte hier bereits ΔE geschrieben werden. Damit ist dann (11) korrekt.

Die Integration ist in Ordnung. Sie bildet die Summe der Energieanteile aller Photonen. Die Integrationskonstante muß Null sein. Sie wäre nur dann nicht Null, wenn dem System von außen Energie hinzugefügt oder nach außen abgegeben wird, oder wenn die Integration nur einen Teil des Systems erfaßt.

$E = m \cdot c^2$, Herleitung System I'.png

