

Die „Umwandlung“ von Masse in Energie

oder

die merkwürdigen Ansichten verschiedener Physiker

Im Internet findet man eine große Zahl von Beiträgen, in denen sich verschiedene Autoren zu Themen der Physik und anderer Wissenschaften äußern. Der geneigte Leser tut aber gut daran, die Aufsätze mit kritischem Blick zu betrachten. Eine große Zahl Beiträge wird von Autoren verfaßt, die bei Ihren Überlegungen einfachste Zusammenhänge mißdeuten und über ebenso einfache logische Gegebenheiten stolpern, die sie mental nicht erfassen können. So kommt es dann auch zu Ausführungen, mit denen fern von jeder Wissenschaftlichkeit viele Ungereimtheiten verbreitet werden, die jedoch in überzeugtem Ton Physik genannt werden. In vorliegendem Beitrag geht es um ein Thema, das in so enormer Häufigkeit falsch erklärt wird, daß es nicht einmal möglich ist, alle fehlerhaften Darstellungen zu nennen: Die vielbeschworene Umwandlung von Masse in Energie und umgekehrt. Ein Diskussionsteilnehmer schrieb mir dereinst, die Umwandlung sei „milliardenfach bewiesen“, nannte aber keinen dieser vielen „Beweise“, offenbar hatte auch er keinen. Ich greife aus den Beiträgen eine kleine Zahl heraus, bei denen ich mit möglichst kleingehaltenem mathematischen Apparat über die Fehler aufzuklären versuche. Dabei zitiere ich Textstellen und füge Kommentare in roter Schrift ein.

Im Internetportal „Frustfrei lernen“ findet man unter <https://www.frustfrei-lernen.de/physik/emc2.html> die folgende Darstellung:

$$E = mc^2$$

"E" ist die Energie des Körpers in Newtonmeter bzw. Joule, also Nm bzw. J

"m" die dynamische Masse des Körpers in Kilogramm, also kg

"c" die Lichtgeschwindigkeit in Meter pro Sekunde, also m/s

Die Gleichung besagt: Energie ist gleich der Masse mal der Geschwindigkeit des Lichtes zum Quadrat. Und über einen weiteren Punkt sollte man sich im klaren werden: Es liegt eine Äquivalenz von Masse und Energie vor (Äquivalenzprinzip). Das bedeutet, dass Masse und Energie ineinander umgewandelt werden können.

Hier sieht man den Fehler in unmittelbarer Formulierung, denn genau das bedeutet es eben gerade nicht. Das Äquivalenzprinzip wird hier falsch interpretiert, außerdem wird eine ganz elementare Logik verletzt, wie ich weiter unten noch ausführen werde.

Jede Änderung der Masse bedeutet eine Änderung der Energie und umgekehrt.

Diese Aussage ist richtig und auch verständlich. Warum aber dann oben eine solcher Widersinn? Er läßt sich hier nicht einordnen – kurz: Die oben unterstrichene Aussage ist falsch.

In einer Veröffentlichung vom 10.02.2022 unter der Adresse

https://www.google.de/search?lei=GQD2Yse-WIKfk7_UP6P2ykAw&q=kann%20man%20masse%20in%20energie%20umwandeln&ved=2ahUKEwiHh5bY4sD5AhUn8rsIHei-DMIQsKwBKAN6BAhOEaQ&biw=1579&bih=762&dpr=1

sind viele Beiträge zum Thema gelistet, im Titeltext findet man die gleiche fehlerhafte Erklärung wie oben, dort heißt es :

Die Formel $E = mc^2$ ist ein von Albert Einstein entdecktes Naturgesetz. Sie stellt einen Zusammenhang zwischen Masse m , Lichtgeschwindigkeit c und Energie

E her. Genauer gesagt beschreibt sie, dass **Masse und Energie ineinander umgewandelt werden können**.

Und so wiederholt sich der Fehler an vielen Stellen im Netz, die von verschiedenen Autoren verfaßt wurden.

Der Chefkorrespondent für Wissenschaft der Zeitschrift *Welt*, Norbert Lossau, schreibt am 09.09.2008 unter

<https://www.welt.de/debatte/kolumnen/Fuenf-Minuten-Physik/article6059214/Materie-wird-zu-Energie.html>:

Materie wird zu Energie

Von Norbert Lossau

Mit Lichtgeschwindigkeit reisen kann, wie ja der Name schon sagt, allenfalls das Licht. Betrachtet man Licht als Teilchen, als Photonen, so gilt für sie, dass sie die Ruhemasse null haben. Licht ist aufgrund seiner Natur gleichsam gezwungen, stets mit Lichtgeschwindigkeit zu eilen.

Wenn im neuen Teilchenbeschleuniger LHC in Genf demnächst Protonen mit je nahezu Lichtgeschwindigkeit frontal aufeinanderknallen (man hört es richtig, wie sie „knallen“), werden Energiedichten entstehen, wie sie zuletzt während des Urknalls geherrscht haben.

Hier scheitert Herr Lossau an dem Logik-Hickhack der heutigen Kosmologie. Während des Urknalls soll es doch, wie einige Theoretiker sagen, noch gar keine Struktur der Materie gegeben haben, in der Teilchen kollidieren könnten. Es soll doch nur eine Singularität mit einer unendlichen Energiedichte „reiner“ – soll heißen: masseloser Energie – gegeben haben, was immer das sein mag. Die Struktur der Materie habe sich doch erst später herausgebildet, mit der sogenannten primordialen Nukleosynthese. Und auch die Naturgesetze habe es doch noch gar nicht gegeben, die seien doch erst mit dem Urknall entstanden. Wenn es aber nun doch schon Teilchen gegeben hat, die kollidiert haben und wir die Kollisionen mit den Naturgesetzen berechnen, ist die Urknallhypothese damit verworfen? Zeit dafür wäre es endlich, denn es gibt weder Energie ohne Masse, noch hat es eine Singularität unendlicher Energiedichte gegeben. Und Naturgesetze können ja nun wahrlich nicht „entstehen“. Somit ist die Urknallhypothese im Ansatz falsch, es hat keinen Urknall gegeben. Nebenbei bemerkt müßte ja nach einem vermeintlichen Urknall das Universum expandieren. Berechnungen zeigen aber, daß für einen solchen Bewegungsstatus etwa 70% der erforderlichen Energie fehlen. Das alles aber ist seit langem nachgewiesen. Das Märchen von der sogenannten „dunklen Energie“ (Michael S. Turner, 1998), die es auch nicht gibt, will ich hier unbeachtet lassen, es würde nur noch zusätzliche Verwirrung stiften.

Die Bewegungsenergie eines einzelnen Protons im LHC entspricht zwar nur ungefähr der einer herumschwirrenden Fliege – wenngleich auch dies bereits für ein einzelnes Elementarteilchen eine respektable Energie ist –, doch tatsächlich wird bei der Kollision von zwei Protonen deutlich mehr Energie freigesetzt als bei der hypothetischen Kollision von zwei Stubenfliegen.

Ja, das leuchtet ein. Bei den Fliegen spritzt es etwas – wegen des Fettgehalts. Bei den Protonen müssen einige Kräfte beachtet werden, die die Fliegen nicht haben, etwa die elektromagnetische Kraft, die gegen die Kollision gerichtet ist und die starke Kernkraft, die erst in sehr kleinen Distanzen auftritt.

Beim Crash von zwei Protonen kann die gesamte Masse der beiden Teilchen in Energie umgewandelt werden.

Aha. Die Masse ist dann also nicht mehr vorhanden, dafür ist die Energie entstanden? Das ist schon sehr merkwürdig: Wenn die beiden Teilchen zusammenstoßen, ist ihre Masse also weg? Wo ist sie denn hin? – Das kann niemand erklären, denn wir wissen schließlich, daß Energie gar nicht entstehen kann. Sie muß also schon da sein. Und ferner wissen wir, daß Masse nicht verschwinden kann, denn beide sind Erhaltungsgrößen, weiter unten etwas ausführlicher. Darüber muß man sicher noch einmal nachdenken, denn so wie es hier geschrieben ist, funktioniert es nicht. Dann sagt er:

Albert Einstein war es, der jene Gleichung entdeckte, mit der diese Umwandlung von Materie in Energie (E) beschrieben werden kann: $E=mc^2$, wobei das Symbol c für die Lichtgeschwindigkeit steht.

Einstein würde wohl ob solcher Behauptungen im Grabe rotieren. Seit fast 200 Jahren ist nun bekannt und bewiesen, daß Energie eine Erhaltungsgröße ist, einfach ausgedrückt: sie kann nicht entstehen und nicht verschwinden (1842 Julius Robert Mayer, 1843 James Prescott Joule und Ludwig August Colding 1847 Hermann von Helmholtz, später noch mehrere andere Wissenschaftler). Glaubt der Autor etwa, Einstein hätte das nicht gewußt? 1905 hat Einstein die Äquivalenz von Masse und Energie hergeleitet, die zwischen 1920 und 1935 mit mehreren Experimenten bestätigt wurde. Damit ist auch die Masse als Erhaltungsgröße nachgewiesen. Also kann auch Masse nicht entstehen und nicht verschwinden. Wie ist es möglich, daß nun heute Behauptungen aufgestellt werden, bei Teilchenreaktionen verschwände Masse und werde in Energie „umgewandelt“?

Mit dieser Aussage wird Albert Einstein etwas ganz fürchterliches unterstellt, was er niemals gesagt hat. Die Aussage zeigt, daß der Autor die Gleichung gar nicht verstanden hat. Die von Einstein gefundene Masse-Energie-Äquivalenz $E=m \cdot c^2$ sagt doch eben aus, daß es eine solche Umwandlung nicht gibt, denn wenn die Masse weg ist, ist auch die Energie weg: $0 = 0 \cdot c^2$, und umgekehrt, wenn die Masse größer wird, ist auch die Energie größer, weil das Verhältnis von Energie zu Masse konstant ist: $E/m = c^2$. Wenn wir aber Masse in Energie umwandeln, wäre ja letztendlich $E + m = const$ (siehe ausführlicher unter <http://hauptplatz.unipohl.de/Wissenschaft/MasseEnergieFehler1.htm>). Das ist doch aber völlig falsch, oder? Wie könnte man denn Joule und Kilogramm addieren? Oder kg in $J (kg \cdot m^2/s^2)$ „umwandeln“? Was könnte denn die Summe von J und kg sein? Das ist doch völlig widersinnig.

Mit derselben Methode könnte man dann auch Kilowattstunden in Quadratmeter umwandeln oder Kubikmeter in Euro. Dann könnte man auch Euro und Hektoliter addieren. Schön wäre es ja, aber hier läuft doch etwas aus dem Ruder. Nun sagt mir aber jetzt bitte nicht, das sei etwas anderes. Es ist nämlich nichts anderes. Man kann Entitäten mit verschiedenen Maßeinheiten, heißt, von verschiedener natürlicher Beschaffenheit, nicht ineinander umwandeln, und addieren kann man sie auch nicht. Das sind doch ganz elementare – ja, triviale – Zusammenhänge, für die man gar keine höheren Physikkenntnisse benötigt. Man kann nicht Kaffee und Kuchen addieren, und man kann auch den Kaffee nicht in Kuchen umwandeln. Man kann auch Brot und Butter nicht addieren, wie man auch Brot nicht in Butter umwandeln kann. Stellen Sie sich vor, sie sollten ausrechnen, wie groß die Summe aus den vier Stühlen in Ihrer Küche und den zwei Hühnern ist, die im Topf auf dem Tisch stehen. Da haben Sie gewiß ein Problem. Alle haben es, niemand kann es lösen – außer ein paar Experten, die dann flugs die Stühle in Hühner umwandeln – Halleluja! Man kann aber einen Euro und einen Cent addieren, weil man weiß, daß 1 Euro dasselbe ist, wie 100 Cent. So kann man den Euro in Cent umwandeln, dann kann man addieren. Das ist in der Tat eine real mögliche Umwandlung: Der Euro ist dann nicht mehr vorhanden, dafür gibt es nun 100 Cent. Gäbe es aber diese Umwandlungsbeziehung nicht, wäre die Addition nicht

durchführbar, und sie wäre ohne Sinn. Es ist genauso wie bei der Energie. Durchaus kann man elektrische Energie in beispielsweise Wärmeenergie umwandeln, denn $1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$. Die Maßeinheiten sind dieselben. Es sind nur verschiedene Darstellungsformen ein und derselben Entität mit derselben Maßeinheit. Und die kann man ineinander umwandeln. Daß die Maßeinheiten in der Tat gleich sind, kann man zeigen, indem man die Grundeinheiten aus dem MKSA-System verwendet:

- $1 \text{ J} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$,
- $1 \text{ kWh} = 1000 \text{ V} \cdot \text{A} \cdot 3600 \text{ s} = 3,6 \cdot 10^6 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^2/(\text{A} \cdot \text{s}^3) \cdot \text{A} \cdot \text{s} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$.

Setzt man also für m die Masse von zwei Protonen ein und multipliziert diese mit dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit, so ergibt sich jene Energie, die auf kleinstem Raum freigesetzt wird und eben zu einer riesigen Energiedichte führt.

Dabei fällt es dann kaum noch ins Gewicht, dass überdies ja die Masse der im LHC kreisenden Protonen fast 7500 Mal größer ist als die eines ruhenden Protons. Nach der, ebenfalls von Albert Einstein formulierten allgemeinen Relativitätstheorie ist es nämlich so, dass die Masse von Teilchen – also von Materie jeder Art – mit ihrer Geschwindigkeit zunimmt.

Das ist trivial, es war auch vor Einstein schon so. Ganz einfach deshalb, weil Masse mit höherer Geschwindigkeit eine größere kinetische Energie hat und somit wegen der Äquivalenz auch eine größere Masse: $E_{kin} = m \cdot v^2/2$. Man sieht es nur im täglichen Leben nicht sofort, weil das Verhältnis von Energie zu Masse eine riesengroße Zahl ist: $9 \cdot 10^{16} \text{ m}^2/\text{s}^2$.

Man braucht in die Relativitätstheorie nichts hineinzudichten, was auch so schon völlig klar ist. Betrachten muß man nur – das hat Einstein hergeleitet – daß alle Geschwindigkeiten relativ sind und alle Größen vom Inertialsystem abhängen. Ein absolutes Inertialsystem gibt es nicht. Dafür hat die Relativitätstheorie die natürlichen Zusammenhänge aufgedeckt. Das Prinzip der Relativität der Bewegung war aber schon vorher bekannt. Galileo Galilei formulierte es mit seiner Aussage: „Ein Passagier in einer fensterlosen Kabine unter Deck eines Schiffes kann nicht wissen, ob das Schiff in Bewegung ist oder nicht.“ Das heißt, ohne ein zweites Objekt, zu dem man eine Bewegung in Bezug setzen kann, hat der Begriff Bewegung keinen Inhalt, es gibt ihn nicht. Aber weiter zur Masse. Man kann eine endliche Masse nicht unbegrenzt beschleunigen, weil sie keine unendliche Energie haben kann, sondern nur eine höchst mögliche, die durch die Naturgesetze erreichbar ist. Darin ist die Lichtgeschwindigkeit der Proportionalitätsfaktor, der diese Größe bestimmt. Mathematisch hat Hendrik Antoon Lorentz diesen Zusammenhang formuliert.

In der entsprechenden Formel taucht das Verhältnis von Teilchen zu Lichtgeschwindigkeit auf. Würde man dort als Teilchengeschwindigkeit den Wert c einsetzen, ergäbe sich rein rechnerisch ein unendlicher Wert für die Masse des Teilchens. Da es Teilchen mit unendlicher Masse und damit unendlicher Energie nicht geben kann, folgt daraus, dass kein materielles Objekt jemals Lichtgeschwindigkeit erreichen kann.

Dieser Darstellung kann man folgen. Warum dann oben etwas so Abwegiges?

Sie ist eine Barriere, die nur in der Science-Fiction durchbrochen wird, wo Raumschiffe gern schon mal mit Vielfachen der Lichtgeschwindigkeit durchs All düsen.

Nun, eine Barriere ist sie nicht. Sie ist eine Naturkonstante. Und die Relationen im Raum und in der Zeit sind in den Naturgesetzen mit dieser Naturkonstanten definiert. Genauso, wie die Gravitationskraft durch ein Naturgesetz über die Gravitationskonstante mit den Massen und ihrer Distanz definiert ist.

Mit Lichtgeschwindigkeit reisen kann, wie ja der Name schon sagt, allenfalls das Licht. Betrachtet man Licht als Teilchen, als Photonen, so gilt für sie, dass sie die Ruhemasse null haben. Licht ist aufgrund seiner Natur gleichsam gezwungen, stets mit Lichtgeschwindigkeit zu eilen. Ruhendes Licht gibt es aber nicht. Andererseits kann mit der einsteinschen Formel einem Lichtquant auch eine Masse zugeschrieben werden.

Ja, logisch. Wenn er Energie hat, hat er auch Masse, sonst wären ja beide nicht äquivalent. Nun ist aber, wie bekannt, auch der Impuls eine Erhaltungsgröße:

$$I = m \cdot v = \text{const.}$$

Eine kleinere Masse hat also beim gleichen Impuls eine größere Geschwindigkeit. Nun ginge aber in dieser Betrachtungsweise der Grenzwert für die Geschwindigkeit, wenn die Masse gegen Null geht, gegen unendlich

$$\lim_{m \rightarrow 0} v = \infty. ???$$

Kann das sein? Es leuchtet ein, daß das nicht sein kann. Und das ist eine Erkenntnis der Relativitätstheorie. Es gibt einen Zusammenhang zwischen der Raumkoordinate der Bewegung und der Zeit. Größer als die Naturkonstante Lichtgeschwindigkeit kann v nicht sein. Heißt nach Lorentz:

$$\lim_{m \rightarrow 0} |\vec{v}| = c.$$

Nun habe ich in diesem Aufsatz aus der großen Zahl von Veröffentlichungen nur einige wenige herausgefiltert und kommentiert. Man findet bei erweiterter Suche viele hundert Beiträge, in denen vorgegeben wird, Energie in Masse „umwandeln“ zu können und umgekehrt. Angesichts der zahllosen gesicherten Forschungsergebnisse kann man kaum verstehen, daß bei vielen Physikern noch immer substantielle Unklarheiten zu diesen Grundfragen vorherrschen. Selbst in der freien Enzyklopädie Wikipedia findet man Sätze wie

In einem Jahr werden in den über 90 Kernkraftwerken der USA dabei unter Verbrauch von ca. 2000 Tonnen Kernbrennstoff fast 100 Kilogramm Masse in Energie umgesetzt. Bei der Bombe, welche 1945 auf Hiroshima abgeworfen wurde, wurde hingegen „lediglich“ eine Masse von ca. 700 Milligramm in Energie umgewandelt.

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

Man kommt nicht an der Frage vorbei, ob dies nur laxe sprachliche Fehlformulierungen sind oder ob tatsächlich so gravierende fachliche Kenntnisdefizite vorliegen.

Andererseits findet man auf dem Portal des Schülerlexikons im Netz völlig korrekte Aussagen, die ich hier partiell zitieren will:

Äquivalenz von Masse und Energie

ALBERT EINSTEIN formulierte in seiner berühmten Arbeit zur speziellen Relativitätstheorie im Jahre 1905: „Die Masse eines Körpers ist ein Maß für dessen Energiegehalt“. Er stellte fest, dass Masse und Energie äquivalente Größen sind und zwischen diesen Größen der fundamentale Zusammenhang $E=m \cdot c^2$ existiert. Diese Gleichung ist die Grundlage für das Verständnis der Energiefreisetzung durch Kernspaltung und Kernfusion sowie vieler weiterer physikalischer Prozesse.

...

Eine neue Sicht auf Masse und Energie

Mit seinen 1905 veröffentlichten Arbeiten zur speziellen Relativitätstheorie entwickelte ALBERT EINSTEIN (1879-1955) nicht nur neue Vorstellungen über

Raum und Zeit. In seinem 1905 erschienenen Beitrag unter dem Titel „Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energiegehalt abhängig?“ stellte EINSTEIN fest:

„Die Masse eines Körpers ist ein Maß für dessen Energiegehalt“.

Den quantitativen Zusammenhang zwischen Masse und Energie gab er in Form einer Gleichung an, die sicher zu den berühmtesten und bekanntesten Gleichungen der Physik gehört. Sie lautet:

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

E – Gesamtenergie eines Körpers

m – dynamische (relativistische) Masse des Körpers

c – Lichtgeschwindigkeit

In Worten: Die Gesamtenergie eines Körpers und seine dynamische Masse sind zueinander proportional. Masse und Energie sind äquivalent. Man spricht auch vom Äquivalenzprinzip.

Was bedeutet Äquivalenz von Masse und Energie?

Äquivalenz von Masse und Energie bedeutet im Unterschied zur Auffassung der klassischen Physik, dass die beiden Größen nicht unabhängig voneinander existieren, sondern dass jeder Form von Energie eine Masse zugeordnet werden kann und umgekehrt jeder Masse eine Energie entspricht.

Äquivalenz bedeutet auch:

Jede Masseänderung bedeutet eine Energieänderung und umgekehrt.

Es bedeutet darüber hinaus:

In jedem abgeschlossenen System ist die Erhaltung der Energie gleichbedeutend mit der Erhaltung der Masse. In relativistischer Betrachtungsweise umfasst der allgemeine Energieerhaltungssatz den Satz von der Erhaltung der Masse.

Der Zusammenhang zwischen Energie und Masse ist nicht auf mechanische Vorgänge beschränkt, sondern gilt für beliebige Vorgänge in der Makrophysik und in der Mikrophysik, also z.B. für die Sonne ebenso wie für die Entstehung von Strahlung bei Zerfall eines Elektron-Positron-Paares (Paarzerstrahlung), für die Spaltung eines Urankerns ebenso wie beim Erwärmen von Wasser durch Energiezufuhr.

Einer Veränderung der Masse entspricht eine bestimmte Energie. Die Verringerung der Masse wird in der Physik als Massendefekt bezeichnet. Für den Zusammenhang zwischen der Veränderung der Masse und der Energie gilt: $E = \Delta m \cdot c^2$

Objekten, die keine Ruhemasse haben (z.B. Photonen, Neutrinos), kann aufgrund der Äquivalenz von Energie und Masse eine Masse zugeordnet werden, die man auch als Impulsmasse oder Ersatzmasse bezeichnet. Diese Impulsmasse ergibt sich aus der Beziehung: $m = E/c^2$

<https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik-abitur/artikel/aequivalenz-von-masse-und-energie#>)

Wenngleich einige der Zusammenhänge nur in grober Übersichtsdarstellung erklärt werden, findet man hier die in den obigen Beiträgen vorhandenen Grundfehler nicht. Man kann also einigen Physikern und anderen Wissenschaftlern, die sich mit dem behandelten Thema befassen, nur wärmstens die Kooperation mit den Autoren des Schülerlexikons empfehlen.

[Schließen](#)