

# Exkurs: Vom ‚Wesen‘ des Raumes, der Zeit, der Materie und der Energie – einige erkenntnistheoretische, naturphilosophi- sche und empirisch-physikalische Überlegungen<sup>1</sup>

von  
Egbert Scheunemann

Zunächst eine notwendige Vorbemerkung zum ‚Wesensbegriff‘: Ich halte nicht viel von ihm. In der Alltagssprache und in einer ganz unaufgeregten Nutzungsweise hat er seine Berechtigung – wenn man mit dem ‚Wesen‘ der Dinge, eines Prozesses, eines Phänomens einfach, wie man oft auch formuliert, den *Kern* der Sache oder ihre *Substanz* meint, den ‚*Punktus Knacksus*‘, die *grundlegenden Strukturen*, den *Generalplan*, den *Dreh- und Angelpunkt*, den *springenden Punkt*, die *Quintessenz* etc., also das, was man, will man die Sache, um die es geht, grundlegend beeinflussen und verändern, *radikal* verändern muss – man muss sie an der *Wurzel* packen.

Jede Adelung des Wesensbegriffs zu einer ontologischen Kategorie ist aber idealistischer Unsinn: Der Platonische Ideenhimmel, das Kantsche ‚Ding an sich‘, das Heideggersche ‚Sein‘ der Dinge schlechthin – das alles sind idealistische Phantastereien, die *als solche* natürlich in unseren Schädeln (und Büchern etc.) *existieren*, aber nur in dem Sinne, in dem dort auch Kobolde, Feen und Zauberer ‚existieren‘.

Wenn man die Sache *bewusst* etwas ins Lächerliche zieht, offenbart sie schnell ihre *grundlegende* Albernheit: Was ist denn ein Vanillejoghurt ‚an sich‘? Was ist das ‚Wesen‘ eines Barhockers oder eines Clubsessels – oder das eines vollen Aschenbechers, eines halbleeren Mülleimers, meiner letzten Stromrechnung oder gar des letzten schlechten Witzes, den man mir erzählte? Was ist denn das ‚Sein‘ der Französischen Revolution oder der letzten Bundestagswahl ‚selbst‘? Das Haus, die Hundehütte, das Drei-Mann-Zelt ‚an sich‘? Was ist die ideale, die wesenhafte, die vom nur ‚falsch-scheinhaften‘ Sein der realen Dinge unterschiedene ‚richtig seiende‘ ‚Idee‘ des Verkehrsstaus, der Nebenhöhlenentzündung, des epileptischen Anfalls oder des Amoklaufs?

Zugestanden: Es gibt wohl einige ‚grundlegende‘ Dinge. Aber die *wirklich* („wirkend“) *grundlegenden* Dinge kann man an einer Hand abzählen – ja sogar an nur drei Fingern! Man kann diese *grundlegenden* Dinge, ohne die *nichts* anderes gedacht, erkannt, gesehen, gemessen, also in irgend einer Weise als **DA** bezeichnet werden kann, in den Satz, ja Merksatz ‚*Etwas in der Raumzeit*‘ fassen: Ohne Raum, Zeit und mindestens ein ‚Etwas‘, das in Raum und Zeit herumschwirrt und dort eben nicht sein ‚Wesen‘, sondern sein – alltagssprachlich sehr gut getroffenes – *Unwesen* treibt, ist jeder Denk- und Erkenntnisprozess zu Ende, noch bevor er begonnen hat. Nennen wir dieses ‚Etwas‘ im Folgenden Materieenergie bzw. Energiematerie. Die Triade von Raum, Zeit

---

<sup>1</sup> Es handelt sich hier um Kapitel VII meines Buches: Irrte Einstein? Skeptische Gedanken zur Relativitätstheorie – (fast immer) allgemeinverständlich formuliert, Hamburg-Norderstedt 2008, ISBN 978-3-8370-4249-8, S. 94-121. Aus Formatierungsgründen stimmen hier die Seitenzahlen und Fußnotennummern mit dem Originaltext nicht überein. Ansonsten ist der Text identisch – inklusive der Literaturangaben und auch anderer Verweise, die sich auf die Literaturliste bzw. andere Stellen und Kapitel des Originaltextes berufen.

und Materieenergie ist denk- und erkenntnisnotwendig, alltagspragmatisch existenziell und auch wissenschaftlich nicht hintergebar – auch und *vor allem* in der Physik nicht, dieser ‚realistischsten‘ aller Wissenschaften:

„Es muss noch eine *dritte* universelle Naturkonstante geben (neben der Lichtgeschwindigkeit und dem Planckschen Wirkungsquantum; E.S.). Dies folgt einfach, wie der Physiker sagt, aus Dimensionsgründen. Die universellen Konstanten bestimmen die *Maßstäbe* der Natur, sie liefern uns *charakteristische Größen*, auf die man *alle anderen* Größen in der Natur *zurückführen* kann. Man braucht aber mindestens *drei* Grundeinheiten für einen vollständigen Satz solcher Einheiten. Am einfachsten kann man das aus den üblichen Konventionen über Maßeinheiten erkennen, wie etwa dem Gebrauch des c-g-s-Systems (Zentimeter-Gramm-Sekunde-System) durch die Physiker. Eine Einheit der *Länge*, eine der *Zeit* und eine der *Masse* sind zusammen ausreichend, um ein vollständiges System zu bilden. Man braucht mindestens *drei* grundlegende Maßeinheiten. Man könnte sie auch durch Einheiten der *Länge*, der *Geschwindigkeit* und der *Masse* ersetzen oder durch solche von *Länge*, *Geschwindigkeit* und *Energie* usw. Aber *drei* Grundeinheiten sind *auf jeden Fall* notwendig... Wenn man von unserer gegenwärtigen Kenntnis der Elementarteilchen ausgeht, so ist vielleicht die einfachste und angemessenste Weise, die dritte universelle Konstante einzuführen, die Annahme, dass es eine universelle *Länge*... gibt...“ (Heisenberg 1977, S. 136)<sup>2</sup>

Mit anderen Worten: Wir brauchen ‚*Etwas in der Raumzeit*‘, also etwas

- ‚*Raumhaftes*‘ (Phänomene: Länge, Strecke, Ausdehnung, Dimensionalität, Höhe, Breite, Radius etc.; zugehörige Naturkonstante: Planck-Länge; Dimension/Größe: Länge  $L$ ; Formelzeichen: z. B.  $l$  oder  $x$ ; SI-Einheit: Meter  $m$ );
- etwas ‚*Zeithaftes*‘ (Phänomene: Bewegung, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Veränderung, Schwingung, Frequenz etc.; zugehörige Naturkonstante: Lichtgeschwindigkeit (als Verhältnis jeweiliger Vielfacher der Planck-Länge und der Planck-Zeit); Dimension/Größe: Zeit  $T$ ; Formelzeichen:  $t$ ; SI-Einheit: Sekunde  $s$ )
- und etwas ‚*Energiemateriemassehaftes*‘ (Phänomene: Masse, Materie, Gewicht, Kraft, Wirkung, Energie, Strahlung etc.; zugehörige Naturkonstante: Plancksches Wirkungsquantum; Dimension/Größe:  $M$ ; Formelzeichen:  $m$ ; SI-Einheit: Kilogramm  $kg$ ).

Wir sehen sofort, warum es mindesten *drei* grundlegende Größen sein müssen: Diese drei grundlegenden physikalischen Größen *definieren* sich nämlich *gegenseitig* (was übrigens nicht bedeutet, dass man sie *ontologisch*, also ‚seinsmäßig‘ aufeinander *reduzieren* kann). Und dazu brauchen wir eben mindestens *drei*. Ich kann nicht sagen, dass Geschwindigkeit ( $v$ ) eine Strecke ( $l$ ) *ist* oder ein Zeitabschnitt ( $t$ ) *ist*, aber ich kann (und sollte) sagen, dass Geschwindigkeit eine Strecke pro Zeitabschnitt ‚*ist*‘. Ich kann also nicht schreiben  $v = l$  oder  $v = t$ . Das wären sinnlose Ausdrücke. Mit nur *zwei* Größen wäre ich also hilflos! Habe ich aber *drei* Größen, kann (und sollte) ich zum Beispiel  $v = l/t$  schreiben. Das entspricht nämlich unserer Alltagserfahrung – vor allem dann natürlich, wenn man die Sache in alltagsüblichen Einheiten ausdrückt: Beispielsweise ist die Geschwindigkeit eines Autos  $v_A = 100 \text{ km/h}$  (also  $\approx 27,78 \text{ m/s}$ ). Und die Länge, also die

---

<sup>2</sup> Ich habe im obigen Zitat die konkreten Werte, die Heisenberg an dieser Stelle nennt, weggelassen, weil sie inzwischen etwas veraltet sind. Das ändert aber nichts am Grundgedanken. Die ‚universelle‘ Länge wird heute als *Planck-Länge* bezeichnet. Sie beträgt  $\approx 1,61624 \cdot 10^{-35} \text{ m}$ .

zurückgelegte Strecke, ist dann eben  $l = v \cdot t$ . Alltagssprachlich ausgedrückt: Die zurückgelegte Strecke ( $l$ ) ist die gefahrene Geschwindigkeit ( $v$ ) mal der gefahrenen Zeit ( $t$ ).

Wir sehen also, dass die drei *Naturkonstanten*, die mit den drei *grundlegenden physikalischen Größen*, ohne deren Festlegung *nichts* geht, assoziiert sind (man könnte übrigens auch *andere* Naturkonstanten oder sogar, rein theoretisch zumindest, langfristig *veränderliche* Natur-’Konstanten’ mit ihnen assoziieren – nur um die *Festlegung der Größen selbst* kommt man nicht herum), jeweils als sich *gegenseitig definierende Verhältnisse* dieser Grundgrößen erscheinen. In *Einheiten* dieser Grundgrößen ausgedrückt

- ist die Lichtgeschwindigkeit (im Vakuum)  $c \approx 300.000.000 \text{ m/s}$ , also ein Verhältnis zwischen Längeneinheit und Zeiteinheit;
- ist das Plancksche Wirkungsquantum  $h \approx 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$  (Joulesekunden), wobei ein *Joule* definiert ist als ein bestimmtes Verhältnis zwischen Masse-, Länge- und Zeiteinheit:  $J = \text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$ ;
- ist die Planck-Länge  $l_p \approx 1,61624 \cdot 10^{-35} \text{ m}$ , wobei ein Meter ( $m$ ) wiederum definiert ist als die Strecke, die das Licht in einem bestimmten Zeitabschnitt, nämlich in  $1/299.792.458$  Sekunden ( $s$ ) zurücklegt.

Nochmals, weil so wichtig: *Alles* definiert sich *gegenseitig*, *nichts* davon kann quasi als ‚archimedischer Punkt‘ definiert werden, *von dem aus* alles andere abgeleitet werden könnte ohne Zuhilfenahme eines Dritten. Formal ausgedrückt, kann – in *physischer*, nicht *mathematischer* Interpretation<sup>3</sup> – niemals  $x = y$  sein (weil *physisch* alles immer nur mit sich selbst identisch ist), aber es *kann* (*muss* also nicht) *physisch* und *physikalisch* sein, dass z. B.  $x = y/z$  ist (wenn ich etwa für  $x$ ,  $y$  und  $z$  die gerade eingeführten Größen  $v$ ,  $l$  und  $t$  einsetze).

Durch die *gegenseitige physikalische Definition* aller drei grundlegenden physikalischen Größen hat also *alles* im (physikalischen) Universum etwas ‚*Raumhaftes*‘, etwas ‚*Zeithaftes*‘ und etwas ‚*Energiemateriemassehaftes*‘. Wenn also jemand daherkommt und behauptet, er habe *im Bereich des Physischen* etwas gefunden, das nichts Raumhaftes oder nichts Zeithaftes oder nichts Energiemateriehaftes hat – dann betreibt er auf jeden Fall und in des Wortes direkter Bedeutung und erst mal ganz wertfrei gesprochen *Metaphysik*.<sup>4</sup>

Wichtig ist auch, dass es dann, wenn es *ein* Kleinstes gibt, durch die *gegenseitige physikalische Definition auch von den beiden anderen grundlegenden physikalischen Größen etwas Kleinstes geben muss*. Max Planck hat experimentell nachgewiesen, dass Energie in kleinsten Energiequanten abgestrahlt wird – daher das Plancksche Wirkungsquantum. Wenn aber Energie physikalisch definiert wird als ein bestimmtes Verhältnis zwischen, ich sage mal zunächst und ganz bewusst sehr allgemein: Masse und irgend einer (potenziellen) Bewegungsform ( $E = m \cdot c^2$  oder  $E = h \cdot f$  oder  $E = m \cdot g \cdot h$ )<sup>5</sup> – nun, dann gibt es auch von den beiden anderen *physikalischen* Größen *Länge* und *Zeit* etwas Kleinstes!<sup>6</sup> Es gibt also nicht nur ein Plancksches Wirkungsquantum (als Naturkonstante des kleinsten ‚*Energiemateriemassehaften*‘) und nicht nur die, wie schon ange-

<sup>3</sup> Ich werde auf die Bedeutungsunterschiede zwischen einer *mathematischen*, *physikalischen* und *physischen* Interpretation gleich noch zurückkommen.

<sup>4</sup> Im Griechischen bedeutet μετά einfach dahinter, danach.

<sup>5</sup> Dabei ist  $h$  wiederum das Plancksche Wirkungsquantum,  $f$  die *Schwingungsfrequenz* (etwa eines Photons) und  $g$  die *Erdbeschleunigung*.

<sup>6</sup> Mein guter Freund Peter Feuerstein wies mich darauf hin, dass dies *mathematisch* nicht unbedingt der Fall sein muss.

führt, Planck-Länge (als Naturkonstante des kleinsten ‚*Raumhaften*‘), sondern auch eine Planck-Zeit (als Naturkonstante des kleinsten ‚*Zeithaften*‘).<sup>7</sup>

Stimmt das alles, dann ist die Raumzeit samt aller ihrer ‚Inhalte‘ also in kleinste Einheiten unterteilt – sie ist, wie man mathematisch formuliert, *diskret* strukturiert. Es gibt dann also „Quanten der Raumzeit“ (Smolin 2004).

So. Was also *ist* die Zeit?

Ich würde *die Zeit selbst* definieren als das ‚Wesen‘, als die *Daseinsweise* der *Bewegung* (und vice versa), in der *alles* im Universum sich *permanent* befindet – einen *informierten Blick* auf die physischen Dinge und Phänomene vorausgesetzt.

Mit einem *informierten Blick* meine ich Folgendes: Man könnte natürlich auf die Idee kommen, dass es auch Dinge gibt, die sich – relativ zueinander – in ‚Ruhe‘ befinden: So steht mein Schreibtisch stoisch ruhig vor der stoisch ruhigen Wand in meinem Zimmer (Bezugssystem), vor der er schon gestern stand. Nur sagt uns eben ein *informierter Blick*, dass der obere Teil des Schreibtisches (oder der Wand) relativ zum Erdmittelpunkt aufgrund der permanenten Erdrotation ein anderes (größeres) Drehmoment hat als der untere – und dass Schreibtisch und Wand aus Molekülen und Elementarteilchen bestehen, die in permanenter Bewegung sind (Wärmeschwingung der Moleküle und Atomgitter, Drehimpuls der Elektronen, Kernspins etc.).

Wenn ich also die Zeit, in Kurzform, als die *Bewegung der Dinge* definiere, fällt sie unter die *Erhaltungssätze*. Sie ist so *absolut*, wie *überhaupt* etwas *absolut* sein kann in unserem Universum: die *Erhaltung* der *Materieenergie* bzw. der *Energiematerie* in ihren verschiedenen *bewegten* Erscheinungsformen.<sup>8</sup>

Um ein erstes, schwächeres Argument für die genannte Definition der Zeit bzw. ihres ‚Wesens‘ anzuführen: Es ist unmittelbar klar, dass wir eine Uhr, also einen Chronometer (griech. ο χρόνος, die Zeit), ohne irgend etwas, das sich relativ zu irgend etwas anderem *bewegt*, nicht einmal denken, geschweige den konstruieren können: emittierte Photonen, schwingende Atome oder schwingende Pendel, Schwungräder und gespannte Federn in mechanischen Uhrwerken, rieselnder Sand, rotierende Planeten etc. pp.

Und um das stärkste nur denkbare Argument gleich folgen zu lassen: Man stelle sich ein Universum vor ohne *jede* Bewegung von irgend etwas! Eine bessere ‚Definition‘ des (eben auch zeitlichen) **NICHTS** kann man sich kaum – ‚vorstellen‘! Und man merkt sofort und intuitiv, dass ein Zustand absoluter Bewegungslosigkeit eine physikalische und physische Unmöglichkeit ist: Ein Planet, der nicht mehr um sein Zentralsystem kreisen würde, müsste, denkt man sich zunächst, durch die Gravitation in letzteres stürzen. Aber halt: Auch *diese* Bewegung gäbe es nicht mehr, wenn es *keine* Bewegung

<sup>7</sup> Die Planck-Zeit beträgt  $\approx 5,39121 \cdot 10^{-44}$  s. Die Lichtgeschwindigkeit, die weiter oben als Naturkonstante des ‚*Zeithaften*‘ ausgewiesen wurde, ist natürlich ein Verhältnis (m/s) bestimmter Vielfacher der Planck-Länge und der Planck-Zeit – und ein Meter (m) ist wieder definiert als die Strecke, die das Licht in 1/299.792.458 Sekunden (s), zurücklegt. Wir sehen also auch in dieser Hinsicht, dass wir aus dem *Zirkel gegenseitiger physikalischer Definitionen* nicht herauskommen – so lange zumindest, bis uns jemand einen physikalischen ‚archimedischen Punkt‘ nachweist.

<sup>8</sup> Vgl. zur Energieerhaltung z. B. *Einstein/Infeld* 1998, S. 70 u. 192 f., oder *Lederman/Schramm* 1990, S. 64 ff.; zu anderen Erhaltungsgrößen (elektrische Ladung, Baryonen- und Leptonenzahl) vgl. z. B. *Feynman* 1997, S. 77-105, *Weinberg* 2000, S. 102 ff., oder *Fritzsche* 1999, S. 73 ff. u. 173 (Teilchenerzeugung aus Energie); zur „Erhaltung des Gesamtspins“ welcher Teilchenmenge auch immer vgl. *Charon* 1988, S. 155 ff., speziell S. 158.

mehr gäbe! Und sogar den Planeten selbst und die Sonne, um die er kreist, und alle anderen Planeten und Sterne und alle andere Materie und Energie und Strahlung im Universum würde es nicht mehr geben – weil kein Molekül und kein Atomgitter und kein Atom und kein Elementarteilchen und keine Strahlung vibrierend, schwingend, rotierend, also sich bewegend Energie tragen könnte, weil kein Elektron mehr um seinen Atomkern kreisen oder als Strom fließend sich durch Atomgitter bewegen würde, kein Atomkern, kein Elementarteilchen, definiert (nach De Broglie) als Materiewelle, kein Photon, definiert als elektromagnetische Welle, kein Teilchenspin sich schwingend, vibrierende oder rotierend im Universum tummeln würde, weil also einfach **NICHTS** mehr wäre – ‚wäre‘.

Muss ich noch groß ausführen, dass in einem solchen physikalisch und physisch unmöglichen und nicht einmal denkbaren Zustand (es gäbe ja auch niemanden mehr, der denken könnte...) auch alles ‚weg‘ wäre, was man in irgend einem vernünftigen Sinne als Materie oder Energie bezeichnen könnte? **Die Totalannihilation jeder Bewegung wäre die Totalannihilation jeder Zeit, jeder Energie, jeder Materie – also des Seins schlechthin.**

Darüber nachzudenken, ob in einem solchen ‚Zustand‘ noch ein leeres ‚Weltentheater‘, also ein ‚Raum selbst‘ übrig bliebe, ist vollkommen sinnlos – weil nichts wäre, was diesen sehen, denken, erkennen, erleben, durchmessen, durchfliegen oder füllen könnte. Weil nichts wäre und nichts stünde, dessen *Gegenstand* er wäre.<sup>9</sup>

Wenn es noch jemanden gäbe, der denken könnte, könnte man sich einen solchen ‚Zustand‘ (*Zustand*) quasi all Totalstillstand aller (durch die Stringtheorie<sup>10</sup> beschriebenen) ‚Raumzeitsaiten‘ denken – also quasi als die absolute, totale, endgültige Totenstarre des Universums als Raum des (sonstigen) **NICHTS**.

Die Fragen ‚Was ist Energie?‘ und ‚Was ist Materie?‘ sind also bis zu einem gewissen Grade schon beantwortet. Um sie ‚endgültig‘ beantworten zu können, betrachten wir, ja *kontemplieren* wir etwas die drei oben schon genannten physikalischen Darstel-

<sup>9</sup> Unser Denken und Sprechen ist von der existenziellen Hintergrundannahme des ‚Weltentheaters‘, also eines *als Raum* definierten Seins, freilich regelrecht durchtränkt: ‚(D)ie Sprache übersetzt alle unanschaulichen Verhältnisse ins Räumliche. Und zwar tut das nicht eine oder eine Gruppe von Sprachen, sondern alle ohne Ausnahme tun es. Diese Eigentümlichkeit gehört zu den unveränderlichen Zügen (‚Invarianten‘) der menschlichen Sprache. Da werden Zeitverhältnisse räumlich ausgedrückt: *vor* oder *nach* Weihnachten, *innerhalb* eines Zeitraumes von zwei Jahren. Bei seelischen Vorgängen sprechen wir nicht nur von *außen* und *innen*, sondern auch *über* und *unter* der Schwelle des Bewusstseins, vom *Unterbewussten*, vom *Vordergrunde* oder *Hintergrunde*, von *Tiefen* und *Schichten* der Seele. Überhaupt dient der Raum als Modell für alle *unanschaulichen* Verhältnisse: *Neben* der Arbeit erteilt er *Unterricht* (und im ‚-richt‘ steckt sogar noch die *Richtung*; E.S.), *größer* als der Ehrgeiz war die Liebe, *hinter* dieser *Maßnahme stand* die *Absicht* – es ist überflüssig, die Beispiele zu häufen, die man in beliebiger Anzahl aus jedem Stück geschriebener oder gesprochener Rede sammeln kann. Ihre Bedeutung bekommt die Erscheinung von ihrer ganz allgemeinen Verbreitung und von der Rolle, die sie in der Geschichte der Sprache spielt. Man kann sie nicht nur am Gebrauche der *Präpositionen* (oder eben *Präpositionen*; E.S.), die ja ursprünglich alle Räumliches bezeichnen, sondern auch an Tätigkeits- und Eigenschaftswörtern aufzeigen.“ (Walter Porzig: *Das Wunder der Sprache. Probleme, Methoden und Ergebnisse der Sprachwissenschaft*, Tübingen/Basel 1993 (1950), S. 209 f., Herv. E.S.)

<sup>10</sup> Auf die *Stringtheorie*, also die Theorie der *Schwingung* letzter, kleinster ‚*Raumzeitsaiten*‘, wird noch zurückzukommen sein.

lungsweisen bzw. Definitionen bzw. Definitionsgleichungen von Energie und die physikalische Definition bzw. Definitionsgleichung ihrer physikalischen SI-Einheit, des Joule:

$$\begin{aligned} E &= m \cdot c^2 \\ E &= h \cdot f \\ E &= m \cdot g \cdot h \\ [J] &= [kg \cdot m^2/s^2] \end{aligned}$$

So. Ich würde, um es erst mal kurz anzudeuten, in einer *physischen* (alltagspragmatischen) Interpretation behaupten wollen, dass Energie *bewegte Materie* ‚ist‘: In allen vier Definitionsgleichungen gibt es jeweils einen *eher* ‚energiemateriemassehaften‘ Zustandsfaktor ( $m$ ,  $h$ ,  $kg$ ) und einen *eher* ‚raumzeithaften‘ Bewegungsfaktor ( $c^2$ ,  $f$ ,  $g$ ,  $m^2/s^2$ ). Dabei sind die beiden ‚eher‘ dem Umstand zu verdanken, dass sämtliche Größen sich eben *gegenseitig* definieren, also immer auch etwas von den anderen haben, was etwa sehr stark in der Definition des Planckschen Wirkungsquantums als *Joulesekunde* zum Ausdruck kommt – und ein Joule ist eben wieder ein Verhältnis zwischen ‚*allem*‘, also Masse-, Längen- und Zeiteinheit ( $kg \cdot m^2/s^2$ ).

Die *gegenseitige* definatorische Abhängigkeit der physikalischen Grundgrößen wie auch der Umstand, dass man sie *nicht* vollständig aufeinander *reduzieren* kann, kommt darin zum Ausdruck, dass in den vier Definitionsgleichungen von Energie bzw. ihrer SI-Einheit der gesamte Wert *null* wird, wenn wir auch nur *einen* Faktor *null* setzen. Alltagssprachlich formuliert: Aus ‚null Masse‘ resultiert genauso ‚null Energie‘ wie aus ‚null Bewegung‘ oder ‚null Beschleunigung‘ – falls vor der Beschleunigung nicht schon Bewegung bzw. Geschwindigkeit ‚da‘ gewesen sein sollte.<sup>11</sup>

Das wird unmittelbar einsichtig, wenn wir Energie (wie in den Lehrbüchern der Physik üblich) als Fähigkeit eines Systems definieren, *Arbeit*<sup>12</sup> zu verrichten: „Energie bedeutet in der Physik die im System gespeicherte Arbeit oder die Fähigkeit des Systems, Arbeit zu verrichten.“<sup>13</sup> Die analoge, reziproke Definition von Arbeit lautet: „Die Arbeit  $W$  (engl. *work*) ist im Rahmen der Physik eine Energiemenge  $E$ , die von einem System in ein anderes System übertragen wird. Diese Übertragung erfolgt in der klassischen Mechanik durch das Wirken einer Kraft entlang eines Weges.“<sup>14</sup> Wie könnte man aber Arbeit verrichten, also eine *Kraft* entlang eines *Weges* wirken lassen, ohne *etwas* zu bewegen bzw. ohne etwas zu *bewegen*?

Also ganz wichtig: Wir brauchen *beide* Faktoren, den ‚Zustandsfaktor‘ wie den ‚Bewegungsfaktor‘, um Energie sinnvoll definieren zu können. Oder mit anderen Worten: Materie und Energie sind (nach  $E = m \cdot c^2$ ) nur *äquivalent* – sie sind *nicht identisch*! Mein (gleich noch etwas genauer zu formulierender und zu erläuternder) Vorschlag für das, was Energie in einer physischen, alltagspragmatischen Definition ‚ist‘, lautet ja

<sup>11</sup> Man könnte *Beschleunigung*, also die Einwirkung einer Kraft auf einen Körper (in der Zeit und in einer bestimmten Richtung) insofern als ‚Produktionsprozess‘ der Bewegung, der Geschwindigkeit definieren – was natürlich die Möglichkeit einer *Entschleunigung* impliziert, also die Einwirkung einer Kraft *gegen* die Bewegungsrichtung eines Körpers.

<sup>12</sup> Das ist auch die direkte Bedeutung des griechischen Wortes ἐνέργεια, das man wörtlich als *drinsteckende Arbeit* übersetzen könnte (εν-: innen, drinnen, έργο: Arbeit, Werk).

<sup>13</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Energie\\_%28Physik%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Energie_%28Physik%29), vgl. auch *Kuchling* 1999, S. 106 ff.

<sup>14</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Arbeit\\_%28Physik%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Arbeit_%28Physik%29), vgl. auch *Kuchling* 1999, S. 101 ff.

‚Energie ‚ist‘ bewegte Materie‘ – und nicht ‚Energie ‚ist‘ bewegte Energie‘, was ja eine Tautologie, besser: eine völlig unsinnige Definition wäre.<sup>15</sup>

Und spätestens jetzt, liebe Leserinnen und Leser, muss ich Ihnen (sozusagen in Form eines kleinen Exkurses innerhalb dieses Exkurses) kurz Rede und Antwort stehen auf die Frage, was ich unter *mathematischen* (aus der Perspektive der Wissenschaft *Mathematik* vollzogenen), *physikalischen* (aus der Perspektive der Wissenschaft *Physik* durchgeführten) und *physischen* (aus der Perspektive der alltäglichen Lebenswelt getätigten) Interpretationen der *Physis*, also der *Natur*, als auch ihrer mathematisch-physikalischen *Beschreibungen, Definitionen und Formeln* verstehe.

Um so anzufangen: In einer hitzigen Diskussion mit (mathematisch wie naturwissenschaftlich hochgebildeten) Freunden warf mir einer der Anwesenden, der meiner Definition, was Energie ‚ist‘, nicht folgen wollte, folgenden Satz an den Kopf: „Das  $c^2$  in  $E = m \cdot c^2$  ist ein *Proportionalitätsfaktor* und hat mit *Bewegung* nichts zu tun.“

Falls es eine Steigerungsform von *perfekt* geben sollte, könnte man sagen: Perfekter kann man nicht aneinander vorbeireden! Ich stelle die Frage: ‚Was ist ein Hund?‘, und mir wird nicht etwa auf alltagspragmatisch-*physischer* (und in diesem Falle auch *biologischer*) Ebene und mit Kurt Tucholsky geantwortet: ‚Ein Hund ist ein von Flöhen bewohnter Organismus, der bellt‘, sondern ich bekomme die Antwort: ‚Hund ist ein Substantiv mit vier Buchstaben.‘!

Die Antwort ‚*Proportionalitätsfaktor*‘ auf die Frage, was bedeutet in der Gleichung  $E = m \cdot c^2$  das  $c^2$ , ist auf *mathematischer* Argumentationsebene selbstverständlich völlig richtig: In der Definitionsgleichung  $E = m \cdot c^2$  ist  $c^2$  definitiv (‚definitiv‘...) ein Proportionalitätsfaktor. Und auch die *physikalische* Antwort auf die Frage, was denn in der Gleichung  $E = m \cdot c^2$  das  $c^2$  zu bedeuten hat, ist völlig richtig: ‚ $c^2$  ist das *Quadrat der Lichtgeschwindigkeit*  $c = 299.792.458$  m/s.‘

Nur, *beide* Antworten sind *keine* Antwort auf die *alltagspragmatische* Frage, für welches *physische* Faktum, Sein, Wesen, Ding etc.  $c^2$  denn steht. Und wir begreifen sofort, dass *mathematische* und *physikalische* Antworten auf die Frage, was es denn mit dem anderen Faktor (m) oder dem Definiendum (E) auf sich hat, uns ebenso wenig weiterhelfen bei dem alltagspragmatisch Versuch, die gesamte Definitionsgleichung  $E = m \cdot c^2$  *physisch* zu interpretieren. Was steht da? Was *bedeutet* diese Formel? Und was *bedeutet* die andere berühmte Definition von Energie  $E = h \cdot f$ ?

Bevor wir uns an einer solchen etwas tiefer gehenden (und mathematisch-physikalisch nicht ganz uninformierten) alltagspragmatisch-*physischen* Interpretation versuchen, sei also festgestellt, dass wir drei Argumentations- und Interpretationsebenen streng unterscheiden müssen:

- Die *mathematische Argumentation* bezieht sich auf die Symbolik und Grammatik (Axiome, Definitionen, Beweise etc.) der Geisteswissenschaft *Mathematik*. Ihre Inhalte sind tendenziell identisch mit dem, was in den Lehrbüchern der *Mathematik* geschrieben steht. Was dort geschrieben steht, hat nicht immer und – speziell in der ‚höheren‘ *Mathematik* – sogar recht selten etwas mit empirisch-realen Dingen zu tun.

---

<sup>15</sup> Davon unberührt ist, dass *Fermionen* (Protonen, Neutronen, Elektronen etc.), also *Massträger*, womöglich vollständig in *Bosonen* (Photonen, Gluonen, Gravitonen etc.), also *Kraftträger* (Energieträger bzw. –übermittler), transformiert werden können – wie es die teilchenphysikalische Theorie der ‚Supersymmetrie‘ voraussagt (*Jolie* 2002). Selbst wenn der experimentelle Nachweis gelingen sollte, wäre damit nicht bewiesen, dass Materie bzw. Masse vollständig in Energie verwandelt werden kann – auch *Bosonen* haben eine *Masse*.

- Die *physikalische Argumentation* bezieht sich auf die Symbolik und Grammatik (Definitionen, Herleitungen etc.) sowie die empirisch-experimentell beobachteten und erhobenen Daten der Naturwissenschaft *Physik*. Ihre Inhalte sind tendenziell identisch mit dem, was in den Lehrbüchern der Physik geschrieben steht. Was in den Lehrbüchern der *Experimentellen Physik* geschrieben steht, erhebt (tendenziell ohne Ausnahme) den Anspruch, die *physische* (also nicht *physikalische*, die Wissenschaft *Physik* betreffende) *Realität* (wenn auch oft nur in statistischer Näherung) richtig zu beschreiben. Der *Theoretischen Physik* eignet dieser ‚Wirklichkeitsbezug‘ – vorsichtig formuliert und man könnte sagen: ‚naturgemäß‘ – nicht immer.<sup>16</sup>
- Die *alltagspragmatisch-lebensweltliche Argumentation* bezieht sich auf sämtliche Phänomene der *Physis*, also der Natur, inklusive aller Lebewesen und ihrer (gegebenenfalls) sozialen Artefakte, betrachtet als *auch* physische Gegenstände. Ihre Inhalte sind tendenziell identisch mit dem mündlich wie schriftlich überlieferten Universalwissen der Menschheit. Bei der alltagspragmatisch-lebensweltlichen physischen Interpretation dessen, was die Naturphänomene *sind*, ist mathematisch-physikalisches Wissen nicht unbedingt hinderlich und oft sogar förderlich. Es gibt aber keine ‚Experten‘ für die alltagspragmatisch-lebensweltliche Interpretation der *Physis*, und sie heißen auch nicht Einstein oder Heisenberg oder Hawking – und am allerwenigsten Platon, Hegel oder Heidegger. Und selbstverständlich auch nicht Scheunemann.

So. Vor dem Hintergrund der bisher in diesem Exkurs geäußerten Gedanken wage ich folgende mathematisch-physikalisch nicht ganz uninformierte, alltagspragmatisch-lebensweltliche *physische* und bis zu einem gewissen Grade auch *naturphilosophische* Interpretation dessen, was Energie ‚ist‘:

*Energie ist bewegte Materie, ist die Summe der Bewegungsenergie, also der kinetischen Energie, die vorhanden ist in Form der (je nachdem) Rotation, Schwingung und Vibration aller Strahlungsquanten, Materiebausteine, Atome, Atomgitter und Moleküle und – im Falle freier Beweglichkeit – ihrer Relativbewegungen zueinander. Energie ist also letztlich immer kinetische Energie. Energie kann (letztlich immer verlustfrei – Energieerhaltungssatz) in verschiedene Erscheinungsformen verwandelt werden. Sie kann aber niemals in absolute Bewegungslosigkeit verwandelt werden oder aus absoluter Bewegungslosigkeit erschaffen werden, da absolute Bewegungslosigkeit weder denkbar noch physikalisch definierbar ist.*

Betrachten, ja ‚kontemplieren‘ wir – bevor ich einige Standardeinwände gegen diese Interpretation diskutiere – vor diesem Hintergrund die beiden berühmtesten Energiedefinitionsgleichungen  $E = m \cdot c^2$  und  $E = h \cdot f$  ein zweites Mal. Zu diesem Zwecke bringe ich sie in eine mathematische Form, die uns die *Semantik*, also den *Bedeutungsinhalt* beider Formeln gerade in ihrer *Gegenüberstellung* offenbart<sup>17</sup> – als zwei Seiten *einer* Medaille:

<sup>16</sup> Nach bestimmten Stringtheorien soll es  $10^{500}$  mögliche Universen geben – obwohl es, um eine Vergleichszahl anzuführen, ‚nur‘  $10^{80}$  Atome im Weltall gibt! Auf gewisse Phantastereien der Theoretischen Physik wird noch zurückzukommen sein.

<sup>17</sup> Die mathematisch-*formale* Gleichheit beider Formeln offenbart sich, wenn man die konkreten Zahlenwerte (für  $c$  und  $h$ ) weglässt und einfach die jeweiligen *Einheiten* hinschreibt (wobei es jeweils um *eine* Einheit geht also z. B. 1 kg): Dann steht  $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$  auf der linken Seite und  $(\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2) \cdot \text{s} \cdot 1/\text{s}$  auf der rechten. Und da sich auf der rechten Seite das  $\text{s} \cdot 1/\text{s}$  sofort wegekürzt, bleibt auf beiden Seiten banalerweise Identisches stehen:  $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2 = \text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$ . Interessant wird die Sache natürlich dadurch, dass man die *konkreten* Zahlen-

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

Und demnach:

$$m \cdot c^2 = h \cdot f$$

Die Gleichung  $E = h \cdot f$  stammt aus dem Theoriegebäude der Quantenphysik, also aus der Welt des ganz Kleinen und (vor allem) *Kleinsten*, und besagt schlichtweg und eigentlich ganz banal, dass ein gewisses Energiequantum immer ein Vielfaches des *kleinsten* Wirkungsquantums pro Zeiteinheit ist – also eben  $h \cdot f$ , wobei  $f$  für die Frequenz (1 Hz = 1/s), also die Häufigkeit eines (in unserem Falle: Energiewirkungs-)Ereignisses pro Zeiteinheit steht.

Die Gleichung  $E = m \cdot c^2$  stammt aus dem Theoriegebäude der relativistischen Physik, also aus der Welt, die um das *Schnellste*, die Lichtgeschwindigkeit  $c$ , aufgebaut ist.

Das Plancksche Wirkungsquantum  $h$  ( $h \approx 6,63 \cdot 10^{-34}$  Js) ist durch den *empirisch-experimentell* ermittelten Zahlenwert ( $\approx 6,63 \cdot 10^{-34}$ ) als Naturkonstante *absolut* bestimmt. *Rein theoretisch-formal* könnte man, wäre der Term  $h \cdot f$  [(kg·m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>)·s·1/s] *nicht* durch einen konkreten empirisch-experimentell ermittelten Zahlenwert bestimmt, für alle Größen, also auch für den ‚*bewegungshaften*‘ Faktor in  $h$  [m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>], *unendlich* große Werte einsetzen. Nur die ‚Praxisprüfung‘ zeigte, dass der Gesamtwert faktisch *begrenzt* ist.

Diese empirisch-faktische bzw. physische Begrenzung rührt natürlich (‚natürlich‘) daher, dass elektromagnetische Strahlung (im Kontext ihrer Untersuchung stieß Max Planck auf  $h$  und formulierte seine berühmte Gleichung  $E = h \cdot f$ )<sup>18</sup> sich nicht unendlich schnell (longitudinal) ausbreiten kann und auch nicht unendlich schnell (transversal) schwingen kann. Einsteins berühmte Gleichung ist von vornherein durch das als *absolut* gesetzte (und natürlich ebenso empirisch-experimentell ermittelte)  $c$  definiert. SRT und ART sind physikalische (nicht *physische*...) Weltbilder, deren zentraler Kern  $c$  ist, die um  $c$  quasi aufgebaut sind – und die mit  $c$ , könnte man sagen, stehen und fallen.

Wenn also  $E = m \cdot c^2$  besagt, dass Energie und Masse äquivalent sind und entsprechend des Proportionalitätsfaktors  $c^2$  ineinander umgewandelt werden können, dass also in Masse irgendwie Energie ‚steckt‘ (und umgekehrt), besagt  $E = h \cdot f$ , *wie* die Energie ‚dort unten‘ tief im Innern der Materie ‚eingepackt‘ ist: nämlich in Form hochfrequenter Schwingung bzw. hochfrequenter Drehimpulse, also bestimmter *Bewegungszustände* von Materiewellen, deren Energie z. B. durch Absorption oder Emission Energie tragender Photonen (in Form des Quantensprungs der Elektronen, d.h. der gequantelten Veränderung ihres Drehimpulses) sich gequantelt erhöhen oder vermindern kann.<sup>19</sup>

Und dadurch, dass  $c$  eben einen *endlichen* absoluten Wert hat, kann Energie weder ‚dort unten‘ *unendlich* (durch unendlich hohe Schwingungsfrequenz der Materiewellen, der Atome, der Atomgitter) dicht gepackt noch ‚dort draußen‘, also etwa im Vakuum des Weltalls, als Photonenenergie – und am allerwenigsten in Form kondensierter Materie (also als ‚dicht gepackte‘ Energie) – unendlich schnell transportiert werden. That’s it! That’s all!

werte von  $c$  und  $h$ , die sie ja gerade zu *Naturkonstanten* machen, eben *nicht* weglässt – siehe oben.

<sup>18</sup> Wobei Planck noch  $E = h \cdot \nu$  schrieb, also für das heute übliche  $f$  (für Frequenz) den griechischen Buchstaben  $\nu$  (sprich: ‚nü‘ bzw. ‚ny‘) setzte.

<sup>19</sup> Vgl. unter <http://de.wikipedia.org> die Artikel „Plancksches Wirkungsquantum“ und „Materiewelle“.

Wir werden noch auf den ‚Unterschied‘ bzw. die Äquivalenz von (in einem Gravitationsfeld) *schwerer* und (auch weitab von einem Gravitationsfeld) *träger* Masse zu sprechen kommen. Hier nur soviel: Wenn man (auch nur intuitiv) begreift, warum sich ein schnell drehender Kreisel dagegen ‚wehrt‘, umgestoßen zu werden, also einen *Widerstand* gegen seine Ortsveränderung ‚leistet‘, dann ahnt man vielleicht auch, warum das unglaubliche Gewimmel, Geschwirre, Geschwinde und Rotieren der Materiewellen, Atome und Atomgitter ‚dort unten‘ in der Summe – Widerstand leistet, träge ist, schwer ist.<sup>20</sup>

Nun. Mit diesem Hintergrundverständnis können wir ganz unbesorgt an die Beantwortung der beiden Standardargumente gegen die Behauptung ‚*Energie ‚ist‘ bewegte Materie‘* gehen: Gibt es nicht *potenzielle*, also ‚*Lageenergie*‘ bzw. ‚*Ruheenergie*‘, oder auch ‚reine‘, also völlig ‚materiefreie‘ bzw. ‚massedfreie‘ Energie, etwa in Form des Photons, also der Energieübertragung durch elektromagnetische Wellen?<sup>21</sup>

Betrachten wir zunächst verschiedene Erscheinungsformen so genannter *potenzieller Energie* ( $E_{pot} = m \cdot g \cdot h$ )<sup>22</sup> – mit einem (wie ich zumindest hoffe) inzwischen weit besser *informierten Blick*. Und machen wir es uns nicht so leicht, dass wir einfach und lapidar sagen, dass auf diesem um sich selbst und um die Sonne rotierenden Planeten und in unserem um den galaktischen Kern rotierenden Sonnensystem und im (wie uns zumindest gesagt wird) permanent expandierenden Universum natürlich *alles* in ständiger Bewegung ist, dass also ‚Ruhe‘ immer nur Resultat einer bestimmten Beobachterperspektive bzw. Behauptung eines *uninformierten* (oder sich dumm stellenden) *Beobachters* ist und sein kann und dass sich Energie, definiert als bewegte Materie, einen Kehricht darum schert, ob sie und aus welcher Perspektive sie beobachtet wird.<sup>23</sup>

Also,  $E_{pot}$  liegt vor (‚liegt‘ vor – wie anders) etwa in Form statisch fixierter, also ‚ruhender‘ kondensierter Materie, die zu ihrem Gravitationsschwerpunkt ‚hingezogen‘<sup>24</sup> wird – also als klassische ‚Lageenergie‘: Der obere Teil der vor mir stehenden Wand hat relativ zum Erdmittelpunkt eine höhere  $E_{pot}$  als ihr unterer Teil.  $E_{pot}$  liegt im weiteren vor etwa in Form einer gespannten Feder oder Saite, eines Kondensators oder einer Batterie.

---

<sup>20</sup> „Eine Mausefalle mit gespannter Feder ist schwerer als im nicht gespannten Zustand.“ (Trefil 1997, S. 198 f.) „Auch Atomkerne lassen sich zum Schwingen anregen, beispielsweise, indem man sie mit elektromagnetischen Wellen bestimmter Frequenz bestrahlt. Der Kern verschluckt dann sozusagen einen Teil der anregenden Strahlung und schwingt nun seinerseits schneller. Je schneller der Kern pulsiert, desto mehr innere Energie besitzt er. Nach der Formel  $E = mc^2$  müsste dann aber auch ein schnell schwingender Kern etwas schwerer sein als ein langsamer... Bei der Gesellschaft für Schwerionenforschung in Darmstadt ließ sich dieser Effekt 1996 nachweisen.“ (Bührke 1999, S. 67)

<sup>21</sup> „Photonenstrahlung“ wird als Form „reine(r) Energie“ z. B. hier behauptet: <http://de.wikipedia.org/wiki/Antimaterie>

<sup>22</sup> Also ‚*Masse (m) mal Erdbeschleunigung (g) mal Höhe (h)*‘, wobei  $g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$ .

<sup>23</sup> Das gilt im ganz Kleinen übrigens nicht immer: ‚Beobachtung‘ ist dort nämlich *Wechselwirkung* des Beobachtungsobjektes (eines Elementarteilchens etc.) mit den ‚beobachtenden‘ Quanten elektromagnetischer Strahlung, deren Wellenlänge *kürzer* sein muss als die Dimensionen des Beobachtungsobjektes, deren Energiegehalt also *höher* ist, so dass es zu einer starken Beeinflussung des Beobachtungsobjektes kommt und nur indirekt auf dessen Beschaffenheit geschlossen werden kann.

<sup>24</sup> Warum ich an dieser Stelle ironisierende Anführungszeichen setze, werde ich erst später verraten...

Bei der Klärung der Frage, was etwa *ist*, hilft sehr oft die Klärung der Frage, *wie es entstanden ist* – und *wie und worin es vergeht*.

Betrachten wir zunächst die  $E_{pot}$  einer gespannten Saite. Man kann bei diesem Beispiel nämlich (bis zu einem bestimmten Grad) direkt *zusehen* und sogar *zuhören*, wie eine bestimmte *kinetische* Energie in eine andere *kinetische* Energie verwandelt wird (und nur vordergründig und mit *uninformiertem* Blick betrachtet in  $E_{pot}$ ): Die Drehbewegung meiner Hand (als Resultat der Bewegung meiner Muskeln respektive der dahinter sich wiederum verbergenden biochemischen und biomechanischen *Prozesse* – also nicht *Zustände*) wird in immer höherfrequentes, kurzwelligeres Schwingen der Saite verwandelt – und das sieht man (bis zu einem gewissen Grad) mit bloßem Auge und man hört es vor allem. Das ‚makroskopische‘ Schwingen der Saite hört zwar (vor allem) aufgrund der Reibung der Saite an den Luftmolekülen recht schnell auf – d.h. ein Teil der in die Saite gesteckten Energie verwandelt sich in die *Bewegungsenergie* der angestoßenen Luftmoleküle (mit anderen Worten: in Abwärme). Aber es bleibt das ‚Gespanntsein‘ der Saite natürlich übrig.

Was ist aber ‚Spannung‘ bzw. ‚Spannungsenergie‘? Sie ist nichts anderes als die Erhöhung der *mikroskopischen* Frequenz der *Schwingung* (mit entsprechender Variation der Wellenlänge<sup>25</sup>) der Atomgitter, aus denen die Saite besteht. Und weil es ‚dort unten‘ keine Luftmoleküle gibt, an der sich diese mikroskopische Atomgitterschwingung reiben könnte, bleibt diese ‚Spannungsenergie‘ für sehr lange Zeit erhalten (bis beispielsweise die Saite aufgrund von Materialermüdung reißt; eine – in Relation zur Reibung der makroskopischen Saite an den Luftmolekülen – sehr schwache Reibung der Atomgitter aneinander gibt es natürlich auch).

Betrachten wir als zweites Beispiel die stoisch ‚ruhende‘ Wand, vor der mein Schreibtisch steht – also einen, könnte man fast sagen, *klassischen* Fall von ‚Ruheenergie‘ bzw. ‚Lageenergie‘: Oben ist ihre  $E_{pot}$  relativ zum Erdmittelpunkt (oder auch nur relativ zum Fußboden meines Zimmers) höher als an ihrem Fuße. Klar ist, dass ein Stein, der im oberen Teil der Wand sein ‚statisches‘ Werk vollzieht, dort hingekommen ist durch den Aufwand an kinetischer Energie, also an Arbeit, die der Maurer, der ihn dort eingemauert hat, aufgewandt hat. Aber in welcher *konkreten* ‚ruhenden‘ Weise ‚steckt‘ seine  $E_{pot}$  da jetzt ‚drin‘?

Nach den bisherigen Ausführungen werden Sie, liebe Leserinnen und Leser, bestimmt schon ahnen, dass da ‚drin‘ gar nichts ‚ruht‘ – wenn man wieder etwas genauer hinguckt.

Ich habe ein sehr schönes Beispiel der Erläuterung potenzieller Energie gefunden, das aufzeigt, was faktisch und vor allem *mikroskopisch* der Fall ist, wenn kinetische Energie in ‚Ruheenergie‘, in ‚statische‘ Energie verwandelt wird, zu ‚liegen‘ – ja in des Wortes direkter Bedeutung zu ‚stehen‘ kommt:

„Ein Turmspringer besitzt vor dem Abspringen eine potentielle Energie (im Gravitationsfeld) gegenüber der Wasseroberfläche. Das *Bezugsniveau* kann aber auch auf den Grund des Beckens *gelegt* werden, dann hat der Springer entsprechend *mehr* potentielle Energie. *Analog* muss *er mehr Arbeit* (also kinetische Energie; E.S.) *aufwenden*, um vom Grund auf das *Sprungbrett* zu kommen (Wenn man weiß, was mit dem Sprungbrett passiert, wenn der Springer sich ‚ruhig‘ auf es stellt, dann weiß man, in was sich seine aufgewandte Kletterarbeit, also die aufgewandte kinetische Energie verwandelt: in eine

---

<sup>25</sup> Frequenz ( $f$ ) und Wellenlänge ( $\lambda$ ) stehen in folgendem einfachen Verhältnis (hier bezogen auf elektromagnetische Wellen):  $f = c/\lambda$ , wobei  $c$  wieder die Lichtgeschwindigkeit ist.

Erhöhung der *Spannungsenergie* des Brettes, also – analog zum Spannen einer Saite oder Feder – eine Erhöhung der Schwingungsfrequenz der Atomgitter, aus denen das Sprungbrett besteht. E.S.)...

Auch das in einem Stausee aufgestaute Wasser, ehe es durch Fallrohre hinabstürzt, oder eine Metallkugel, welche zwischen zwei elektrisch geladenen Kondensatorplatten im Schwebezustand gehalten wird, verfügt über potentielle Energie, wenn das Bezugsniveau entsprechend *darunter gewählt* wird.<sup>26</sup>

Es hat natürlich seinen Grund, warum ich gleich noch den letzten Absatz mitzitiert und einige Wörter darin hervorgehoben habe – davon gleich mehr.

Zunächst aber ist die Frage zu beantworten, in was *konkret* sich die kinetische Energie unseres Maurers, also sein Arbeitsaufwand, verwandelt hat, als er den genannten Stein in die genannte Mauer einsetzte. Nun, die Sache ist nicht so offensichtlich (offensichtlich) wie im Falle der gespannten Saite oder des gespannten Sprungbrettes – aber sie ist *prinzipiell völlig identisch*: Die Erhöhung der Masse- bzw. Materiesäule unterhalb des Steines erhöht durch die Gravitationskraft den Druck auf die Moleküle und Atomgitter, aus denen diese Materiesäule besteht – bis tendenziell zum Erdmittelpunkt (würde dieser Druck nicht diffus im flüssigen Kernmantel der Erde verteilt werden). Und wieder haben wir den gleichen Salat, das gleiche Resultat: Die  $E_{pot}$  des Steines ist identisch mit der Erhöhung der *kinetischen* Energie, die in Form höherer Schwingungsfrequenzen der Moleküle und der Atomgitter vor-,liegt' (Erhöhung des Drucks heißt bei gegebenem Volumen Erhöhung der Temperatur, also der kinetischen ‚Angeregtheit‘ der Materie).

Und wenn wir nun noch bedenken, dass – wie im letzten Zitat extra hervorgehoben –  $E_{pot}$  abhängig ist von der *Wahl* eines *Bezugssystems*, eines ‚Darunter‘ und ‚Darüber‘, dann, fast hätte ich gesagt: *relativiert* sich ihr ‚physisches Sein‘ noch eine ganze Ecke mehr: Von meinem Kopf aus betrachtet sind meine Füße weiter ‚unten‘ – und die Füße eines Menschen auf der mir genau gegenüberliegenden Seite des Erdballes (ob nun auf dem Festland oder auf einem Schiff) sind noch viel weiter ‚unten‘!

Na, sie merken schon, Liebe Leserinnen und Leser, die ganze Sache mit der  $E_{pot}$  hat mit ‚oben‘ und ‚unten‘ nichts zu tun – und sie hat eigentlich mit *gar nichts* etwas zu tun, weil es sie *letztlich gar nicht gibt!* Die ganze Sache wird verursacht durch die gravitative (im Falle der ‚Lageenergie‘) bzw. die elektromagnetische (im Falle z. B. der gespannten Saite) Wechselwirkung der Materieenergie bzw. Energiematerie und ist eine Verwandlung einer bestimmten Erscheinungsform *letztlich immer kinetischer* Energie in eine andere – die Dimensionen, die ‚Packungsgrößen‘ der schwingenden, schwirrenden, rotierenden Materieenergiwellen bzw. Energiemateriewellen werden verändert. Sonst nichts.

Es ist im physikalischen Alltagsgeschäft, um das gleich hinzuzufügen, äußerst sinnvoll, mit  $E_{pot}$  weiterhin zu hantieren und zu rechnen (weil, zurückhaltend formuliert, der experimentelle Nachweis und die mathematische Darstellung der sukzessiven Erhöhung der Schwingungsfrequenzen der Materiebausteine, aus denen die genannte Materiesäule vom oberen Ende meiner Zimmerwand bis zum tendenziellen Erdmittelpunkt besteht, sich etwas schwierig gestalten könnte), und es ist natürlich auch völlig o.k., wenn jemand sagt, dass ihm bei  $E_{pot}$  der Aspekt des kleinräumigen ‚*Eingepacktseins*‘ kinetischer Energie wichtiger erscheint als der Umstand, dass es eben *kinetische* Energie ist,

---

<sup>26</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Potenzielle\\_Energie](http://de.wikipedia.org/wiki/Potenzielle_Energie); Herv. E.S.

die da ‚eingepackt‘ ist. Aber man sollte sich immer bewusst sein und bleiben, was sich hinter  $E_{pot}$  eigentlich verbirgt!

Um das mit der ‚Ruhe-‘ ‚Lageenergie‘ an einem Extrembeispiel zu verdeutlichen: Stellen Sie sich vor, die Gravitation, die dafür verantwortlich ist, dass die Materie in Richtung Erdkern immer extremeren Drücken ausgeliefert, d.h. bei gegebenem absolutem Volumen auf immer kleinere Räume zusammengedrückt immer heißer wird, also immer wilder umherschwingt und wirbelt – dass diese Gravitation plötzlich und auch nur für wenige Sekunden *nicht mehr da* wäre, die ganze Sache sich also schlagartig ‚entspannen‘ könnte und faktisch entspannen würde! Sie werden erahnen, in welcher, man könnte fast sagen: explosiven ‚Lage‘ sich die Erde in Kürze befände...

Angesichts der Tatsache, dass in den Standardlehrbüchern und Nachschlagewerken der Physik brav vom *Faktum* einer  $E_{pot}$  ausgegangen wird (vgl. z. B. *Kuchling 1999*, S. 106 f.), ist es womöglich etwas kühn zu behaupten, dass es so etwas wie  $E_{pot}$  eigentlich gar nicht gibt. Wie es der Zufall wollte und auch zu meiner großen Freude, habe ich nach der Ausformulierung der obigen Zeilen jedoch zumindest einen Physiker gefunden, der der gleichen Meinung ist:

„Die potentielle Energie ist Schuld an der Verwirrung. An dieser Stelle rächt sich ein Versäumnis, das wir bei der Einführung der Energieformen begangen haben. Wir hätten schon dort fragen sollen: ‚Was ist eigentlich potentielle Energie?‘ Durch langjährigen Umgang sind wir an die Energieform ‚potentielle Energie‘ schon so gewöhnt, dass wir sie ganz selbstverständlich als alte Bekannte im Kreise der Energieformen begrüßt haben, ohne nach ihrer Abstammung zu fragen. Bei den meisten Anwendungen des Energiesatzes bereitet sie auch keinerlei Schwierigkeiten. Offenbar kommt es aber zu Problemen, sobald es um die Arbeit geht. Die Ursache davon ist ein kleiner Makel in der Herkunft der potentiellen Energie. Es ist nämlich gar nicht selbstverständlich, dass es sie *überhaupt gibt* (Herv. im Original; E.S.). Genauer gesagt hängt es von einer *Entscheidung* ab, die Sie selbst fällen müssen und die... die Wahl der Systemgrenzen betrifft... Wenn Sie zwei Körper entgegen der Gravitationsanziehung auseinander ziehen, erhöhen Sie dadurch die Energie des *Gravitationsfelds*. Im Energiesatz muss diese Energie berücksichtigt werden. Das tut man auch – meist jedoch, ohne sich darüber Rechenschaft abzulegen. In Kasten 7.3 (den wir hier übergehen können; E.S.) wird erläutert, dass diese *im Feld gespeicherte Energie identisch mit der potentiellen Energie ist*... Normalerweise lässt man *aus gedanklicher Sparsamkeit* das *Gravitationsfeld* völlig unter den Tisch fallen und spricht statt dessen von *potentieller Energie*, die man in Gedanken dem betrachteten Körper zuschreibt.“ (*Müller 2007*, S. 158-160; Herv. E.S.)  
Welch schöne Formulierung:  $E_{pot}$  als Resultat gedanklicher Sparsamkeit!

Nun, was ist aber mit *chemischer* oder gar *atomarer* Bindungsenergie? Wie konkret steckt denn, nach  $E = m \cdot c^2$ , die Energie in der Masse? Was passiert, wenn eine Atombombe explodiert oder auch nur eine konventionelle in Form der blitzartigen Freisetzung chemisch gebundener Energie?

Nun, nach allem, was bislang ausgeführt wurde, sollte die Sache eigentlich klar sein: Sie werden auch ‚dort unten‘ (chemische Bindungsenergie) und auch und gerade ‚dort ganz unten‘ (atomare Bindungsenergie) nichts, aber rein gar nichts finden, was in irgend einer Weise gegen das *dort unten* geltende fundamentale Gesetz verstoßen würde, das da lautet:  $E = h \cdot f$ ! Und das hatten wir schon! Es wurde schon erläutert, in welcher Form ‚dort unten‘ kinetische Energie kleinräumig gepackt ist – in Form der Schwingungs-

frequenz oder des Drehimpulses kleinster Materieenergiwellen bzw. Energiemateriewellen!<sup>27</sup>

Was passiert, um ein schönes Beispiel anzuführen, das die Entstehung von ‚Lageenergie‘ (=  $E_{pot}$ ) wie von chemisch gebundener Energie (=  $E_{pot}$ ) gleichermaßen verdeutlicht, wenn ein Baum wächst? Er verwandelt via Fotosynthese *freie kinetische Photonenenergie* in *chemisch gebundene Energie* (Zuckersynthese aus  $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$ ), um durch chemische ‚Verbrennung‘ des Zucker ‚Wachstumsenergie‘ zu gewinnen (für Strukturbildung, Aufnahme von Wasser und Mineralstoffen aus der Erde etc.). Was bei dieser ‚Verwandlung‘ konkret passiert, wurde weiter oben schon kurz angeführt: Die kinetische Energie eines Photons ‚kickt‘ ein Elektron auf ein höheres Energieniveau (das Elektron vollzieht den berühmten Quantensprung), wodurch sich sein *Drehimpuls* (und seine chemische Reagibilität) erhöht.<sup>28</sup> Es liegt also keine Vernichtung *kinetischer* Energie vor – sondern mal wieder nur eine Verwandlung ihrer ‚Packungsform‘.<sup>29</sup>

So. Auch die Energie, die noch eine Stufe weiter ‚unten‘, also in den Atomkernen steckt, liegt in keiner anderen Weise vor als in Form vibrierender, schwingender und rotierender Elementarteilchen – bis hinunter in jenen subatomaren Bereich (Quarks, Gluonen etc.), der durch die Quantenfeldtheorie<sup>30</sup> beschrieben wird, oder – noch ein Stockwerk tiefer – in jene aller kleinste Welt *schwingender Saiten* (Strings), die von der Stringtheorie postuliert wird.<sup>31</sup>

---

<sup>27</sup> Im XII. Kapitel ( $E = mc^2$  – *auf ein Neues*; vgl. S. 161 ff.) werde ich auf diesen Zusammenhang zurückkommen und entsprechende Textbelege aus der einschlägigen physikalischen Literatur zitieren, die diese Einschätzung bestätigen.

<sup>28</sup> Unter folgenden Adressen findet sich eine sehr schöne graphische Darstellung der chemischen Reaktionsfolge im Kontext der Fotosynthese, die die Quantensprünge der Elektronen als regelrechten Formationstanz offenbart:

<http://de.wikipedia.org/wiki/Fotosynthese>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Lichtreaktion-z-schema.png>

<sup>29</sup> Was passiert bei der Explosion einer chemischen Substanz? Ich habe ein schönes Gleichnis gefunden: Eine Eistanzerin erhält bei einer Pirouette ihren Drehimpuls (von der Reibung also mal abgesehen), kann aber schneller oder langsamer werden, indem sie ihre Arme an sich zieht oder ausstreckt. Ein Elektron kann, wenn es auf ein niedrigeres Energieniveau zurückfällt, seine in seinem Drehimpuls ‚gespeicherte‘ Energie nur schlagartig und ‚am Stück‘, also ‚als Quant‘ abgeben unter Freisetzung eines Photons gleicher Energie. Geschieht dies in Form einer blitzartigen Kettenreaktion im Kollektiv, sind abrupte molekulare Umstrukturierungen, Druck- und Temperaturveränderungen die Folge. Eine chemische Explosion ist also so ähnlich, wie wenn Milliarden dich nebeneinander kreiselder Eistanzerinnen plötzlich ihre Ärmchen ausstrecken! Vgl. zu diesem Gleichnis *Bührke* 1999, S. 113, *Hey/Walters* 1998, S. 151, *Penrose* 1991, S. 161.

<sup>30</sup> „Die Massen der Baryonen, wozu auch Proton und Neutron gehören, sind *viel größer* als die Massen der Quarks, aus denen sie bestehen, und werden *dynamisch* erklärt (das heißt aus der Wechselwirkung der Quarks). Ansätze zur Berechnung liefern Gitterrechnungen in der QCD. (Die QCD, also die **Quantenchromodynamik**, ist die quantenfeldtheoretische Beschreibung der starken Wechselwirkung. E.S.)“

([http://de.wikipedia.org/wiki/Masse\\_%28Physik%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Masse_%28Physik%29); Herv. E. S.)

<sup>31</sup> Vgl. zur Stringtheorie etwa *Ramond* 2003. Sehr interessant ist in diesem Kontext auch ein theoretischer Ansatz, der das Verhalten von Lichtwellen in der Raumzeit analog zum Verhalten von Schallwellen in Flüssigkeiten zu erklären versucht: Vgl. *Jacobson/Parentani* 2006.

Hierzu ein schönes Beispiel: „Nur etwa 1% ihrer Masse (der Masse von Protonen und Neutronen; E.S.) besteht aus der Masse der Quarks, wohingegen die restlichen 99% in der *Dynamik* (!! E.S.) der starken Wechselwirkung enthalten sind. Ein 80 kg schwerer Mensch besteht damit nur zu rund 800 g aus Teilchen, wobei die restliche Masse in Form dieser *dynamischen Energie* (!! E.S.) nur dazu gebraucht wird, um die Teilchen zusammen zu halten.“<sup>32</sup> Und der Rest besteht, wie gesagt, aus *schwingenden Saiten*...

Nach allen bisherigen Ausführungen werden Sie womöglich nachvollziehen können, wenn ich rhetorisch frage: Wie könnte es nach  $E = h \cdot f$  anders sein? Wenn  $f$ , die Schwingungsfrequenz, *null* ist – ist auch die Energie *null*! Und auch die Materie, man könnte auch sagen: die ‚Energieträgermasse‘ (die in  $h$  in Form des  $kg$  ‚steckt‘) ist dann ‚*null*‘! D.h., es muss zwar immer *etwas* geben, das *schwingen* kann (Materie und Energie sind in dieser Hinsicht, wie gesagt, *nicht identisch*, sondern nur *äquivalent*). Aber, wie es scheint, ist dieses Etwas ‚weg‘, sozusagen ‚annihiliert‘ – wenn es sich nicht mehr schwingend bewegt!

Und das ist natürlich die Antwort auf den oben genannten zweiten Einwand, der da lautete, dass es aber auch ‚reine‘ Energie (Beispiel: Photonenstrahlung) gebe und deswegen nicht *jede* Energie in die Formel ‚*Energie, ist‘ bewegte Materie‘* gepresst werden könne.

Sie kann! Nur die *Ruhemasse* des Photons ist *null*! Sobald es aber ‚ruht‘ – ist es nicht mehr da! Sobald es etwa ein Elektron auf ein höheres Energieniveau gekickt hat – ist es urplötzlich weg! Seine Energie (also quasi es selbst) steckt dann vollständig (falls ich hier nichts vergessen haben sollte...) im höheren Drehimpuls des Elektrons. Und ein Photon ist erst dann wieder ‚da‘, wenn ein Elektron auf ein tieferes Energieniveau springt und die Energiedifferenz eben als Photon emittiert.

Wir können es drehen und wenden (selbst das sind noch zwei Bewegungsformen...), wie wir wollen – *Bewegung* bringt Materie<sup>33</sup> wie Energie ins ‚Sein‘!

Wie könnte man diesen Exkurs über das ‚Wesen‘ des Raumes, der Zeit, der Energie und der Materie – geäußert im Kontext einer kritischen Betrachtung der SRT und ART – besser abschließen, als mit der Feststellung, dass die moderne (theoretische) Physik inzwischen *nicht* mehr davon ausgeht, dass es so etwas wie eine ‚*relativistische Masse*‘ gibt? Es ist wirklich so, liebe Leserinnen und Leser:

---

<sup>32</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Äquivalenz\\_von\\_Masse\\_und\\_Energie](http://de.wikipedia.org/wiki/Äquivalenz_von_Masse_und_Energie); Herv. E.S.

<sup>33</sup> Übrigens und am Rande: Die Bemühungen, den Ursprung der *Masse* der Materie über das so genannte *Higgs-Feld* zu erklären (vgl. die relativ aktuelle Darstellung des Forschungsstandes bei Kane 2006), erachte ich als *heuristisch* wenig fruchtbar. Nehmen wir an, das Higgs-Feld wird im LHC (Large Hadron Collider), der in diesem Jahr (2008) in Genf in Betrieb genommen werden soll, gefunden. Was wäre damit erreicht? Die Antwort auf die Frage nach dem ‚letzten‘ Ursprung der Masse der Materie wäre *verschoben*, aber nicht *geklärt*. Denn es kommt natürlich sofort die Frage auf – woher hat das Higgs-Feld die Masse, die es der Materie verleiht? Ein Erklärungsansatz wäre, dass die Masse der Materie aus ihrer *Wechselwirkung* mit dem Higgs-Feld resultiert in dem Sinne, dass die Masse diese Wechselwirkung *ist*. Dann hätte das Higgs-Feld den Charakter eines ‚Mediums‘, eines ‚Hintergrundfeldes‘, also quasi eines – man wagt es kaum auszusprechen – ‚Äthers‘. Die Masse der Materieenergie, also die Energiematerie in gewissem Sinne *selbst*, wäre dann Resultat dieser Wechselwirkung *als* Wechselwirkung, also, bildhaft gesprochen, des ‚Zupfens‘ an den ‚Saiten‘ eines medial (also nicht als starres Raumraster) verstandenen ‚Äthers‘.

„Ein heute noch in der Experimentalphysik und der *populären* Literatur häufig verwendeter Begriff ist der Begriff der *relativistischen Masse*  $m = \gamma m_0$ , (wobei  $\gamma = \sqrt{1-v^2/c^2}$  und  $m_0 = \text{Ruhemasse}$ ; E.S.) der jedoch in der theoretischen Physik inzwischen als *irreführend abgelehnt* wird, da diese Masse nicht einfach in das newtonsche Kraftgesetz  $F = m \cdot a$  ( $a = \text{Beschleunigung}$  als  $\text{m/s}^2$ ; E.S.) eingesetzt werden kann. Das Kraftgesetz<sup>34</sup> lautet in der speziellen Relativitätstheorie

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \gamma m_0 \vec{a} + \gamma^3 m_0 \vec{v}(\vec{v} \cdot \vec{a}) / c^2$$

Man sieht, dass die Beschleunigung nicht immer in die Richtung der Kraft zeigt. Die Kraft hat nämlich noch eine zweite Komponente, die in Richtung der Geschwindigkeit zeigt. Die träge Masse kann also *nicht* mehr als Proportionalitätsfaktor von Kraft und Beschleunigung dargestellt werden. Dies hat anfangs zu den Begriffen der *longitudinalen* und *transversalen* Masse geführt (für Beschleunigungen in Bewegungsrichtung und senkrecht dazu), die aber heute nicht mehr verwendet werden.

Heute verwendet man die *geschwindigkeitsunabhängige* Eigenschaft des Körpers  $m_0$  als Entsprechung zur... *newtonschen* (!! E.S.) trägen Masse. Sie wird historisch Ruhemasse, in moderner Sprechweise auch *invariante Masse* oder einfach *Masse* genannt. Mit der Masse eines Objekts ist heute stets diese Größe gemeint.

Die *geschwindigkeitsunabhängige* Masse verknüpft die Energie und den Impuls (die von der Geschwindigkeit bzw. dem Bezugssystem abhängen) über die Beziehung

$$(m_0 c^2)^2 = E^2 - p^2 c^2$$

Im Ruhesystem des Körpers ( $\vec{p} = 0$ ) wird daraus die berühmte Gleichung  $E = m_0 c^2$ , welche die Äquivalenz von Masse und Energie ausdrückt.<sup>35</sup>

Der oder die Autoren des Artikels „Relativistische Masse“ in der Online-Enzyklopädie Wikipedia schreiben: „Die so (analog zur eben zitierten Definition; E.S.) definierte Masse ist eine nur vom Charakter der Teilchen abhängige Größe und *entspricht damit eher der klassischen Vorstellung von Masse, als das Konstrukt* (!! E.S.) *der relativistischen Masse...* Was die ‚relativistische Masse‘ von der Ruhemasse unterscheidet, ist also *keine Masse, sondern die kinetische Energie*.“<sup>36</sup>

Und der oder die Autoren des Artikels „Ruhemasse und relativistische Masse eines Körpers“ schreiben nach einer längeren (und übrigens völlig korrekten und schlüssi-

<sup>34</sup> Wobei in der nachfolgenden Gleichung der Pfeil ( $\rightarrow$ ) über mehreren Symbolen einen *Richtungsvektor* anzeigt (also die Richtung einer wirkenden Kraft  $F$  z. B.),  $p$  der *Impuls* ist,  $v$  die *Geschwindigkeit* ( $p = m \cdot v$ ),  $dp/dt$  ein Differentialquotient, also eine Veränderung (Differenz  $d$ ) von  $p$  pro Zeitdifferenz ( $dt$ ) meint, und  $c$  natürlich wieder die Lichtgeschwindigkeit.

Ich habe übrigens die obige und auch die im Folgenden zitierten Formeln aus Gründen graphischer Darstellungsqualität neu editiert – den Originalen aber eins zu eins entsprechend.

<sup>35</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Masse\\_%28Physik%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Masse_%28Physik%29); Herv. E.S. Dabei ist anzumerken, dass die Autoren weder des eben zitierten noch der nachfolgend zitierten Artikel in irgend einer Weise grundsätzlich Zweifel hegen an der Gültigkeit der SRT (oder der ART).

<sup>36</sup> [http://de.wikipedia.org/wiki/Relativistische\\_Masse](http://de.wikipedia.org/wiki/Relativistische_Masse); Herv. E.S.

gen!) mathematischen Herleitung: „Es war schon immer nicht recht einzusehen, warum zwar elektrische Ladungen, nicht aber Massen *invariant* gegenüber Wechsel des Bezugssystems (gegen *Lorentz-Transformation*) (mittels unseres berühmten Faktors  $\sqrt{1-v^2/c^2}$ ; E.S.) sein sollten... Der Grund dafür ist jetzt offensichtlich: Es gibt sie – die Relativität der Masse – gar nicht!... Die *Trägheit (Masse) der Energie* erklärt den *scheinbaren* Massenzuwachs der Körper mit zunehmender Geschwindigkeit sowie ihr unterschiedliches Verhalten gegenüber transversaler und longitudinaler Beschleunigung.“<sup>37</sup>

Wie wir weiter oben (S. 61, Fußnote 13) schon gesehen haben, werden ‚*relativistische Masse*‘, ‚*Zeitdilatation*‘ und ‚*Längenkontraktion*‘ nach der strukturgleichen Formel berechnet:

$$m' = \frac{m}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \quad t' = \frac{t}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \quad l = \frac{l'}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \quad 38$$

Könnte es also sein, dass ‚*Zeitdilatation*‘ und ‚*Längenkontraktion*‘ so ‚real‘ sind wie ‚*relativistische Masse*‘?

---

<sup>37</sup> [http://de.wikibooks.org/wiki/Ruhemasse\\_und\\_relativistische\\_Masse\\_eines\\_K%C3%B6rpers](http://de.wikibooks.org/wiki/Ruhemasse_und_relativistische_Masse_eines_K%C3%B6rpers); Herv. E.S.

<sup>38</sup> In der letzten Gleichung sind  $l$  und  $l'$  vertauscht, weil es sich um eine *Längenkontraktion* handelt und nicht um eine ‚Dehnung‘, also ein ‚Mehr‘ an Zeit oder Masse.