

**Neues zum relativistischen elastischen Stoß zweier Teilchen**  
**Schulgeometrische Deutung der relativistischen Masse beim elastischen Stoß im Impulsraum**

Manfred Kunz\*      Bianca Grebe<sup>+</sup>

\*Reinhardtstr. 11, 04318 Leipzig    +Rehfeldstr. 7, 12527 Berlin, Pixisstr. 7, 81679 München,

**Kurzfassung**

Ausgewählte Serien von relativistischen Stößen sind für Schüler geeignet. Grundlage dafür ist eine spezielle Anordnung der Impulse beim elastischen Stoß zweier Teilchen. Obwohl es sich um schräge und relativistische Stöße handelt, werden weder Winkel noch Vierervektoren gebraucht, weil die geometrischen Figuren ausschließlich durch Impulslängen beschrieben werden und weil hier überraschend die Impulsgeometrie alle notwendigen Komponenten der Relativitätstheorie implizit enthält. Die vier Stoßimpulse ergeben ein allgemeines Viereck. Wenn vor oder nach dem Stoß ein ruhendes Teilchen auftritt, dann existieren insgesamt nur drei Stossimpulse, aus denen ein Dreieck resultiert. Allen Seiten des Dreiecks wird ein Impulscharakter zugeordnet, wobei sich die Teilchenimpulse in Seitenhalbierende verwandeln. Man kann mit ganzen Zahlen und ohne physikalische Einheiten rechnen. Die Ergebnisse entsprechen der Literatur, obwohl, abgesehen von der Ruhmasse, nur die Schulgeometrie benutzt wird. In zwei Patenten wird eine technische Anwendung unterbreitet.

**Einleitung**

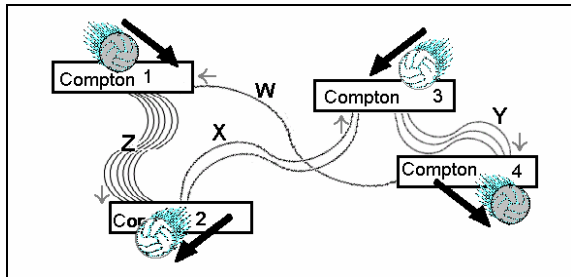
Viele relativistische elastische mechanische Stöße von zwei oder drei kollidierenden Teilchen sind in der Physik derzeit noch nicht ausgewertet. Vielleicht besteht kein Bedarf, vielleicht sind für den Hochenergiephysiker andere Dinge wie z.B. Ladung, Spin, Polarisation von Interesse. Formeln in dem für die Schule gewünschten Maße existieren im wesentlichen für zwei Stoßtypen, nämlich einmal für den Zweierstoß im „Laborsystem“, d.h. mit einem anfangs ruhenden Teilchen und einmal für den Stoß im Schwerpunktsystem. Aber auch die für das besagte Laborsystem existierenden Formeln sind nicht gerade einfach, ganz im Gegenteil, ihre Herleitung ist hoffnungslos schwierig, siehe Abb. 1, entnommen aus [1], [2]. Trotzdem spiegeln sie die Gegebenheiten der physikalischen Erfahrungen wider und entsprechen der abstrahierten Wirklichkeit.

$$\begin{aligned} \cos \vartheta &= (E_A \cdot E_R / \epsilon^2 + m_{B0} \cdot (E_R - E_A) - m_{A0}^2 \cdot \epsilon^2) / (p_A \cdot p_R) \\ \cos \vartheta &= (E_R \cdot (E_A + m_{B0} \cdot \epsilon^2) - E_A \cdot m_{B0} \cdot \epsilon^2 - m_{A0}^2 \cdot \epsilon^4) / (p_A \cdot p_R \cdot \epsilon^2) \\ \cos \varphi &= (E_A + m_{B0} \cdot \epsilon^2) \cdot (E_B - m_{B0} \cdot \epsilon^2) / (p_A \cdot p_B \cdot \epsilon^2) \end{aligned}$$

**Abb. 1: Funktionen des Stoßwinkels beim Zweiteilchenstoß mit einem ruhenden Teilchen. Die Bezeichnungen sind in Abb. 6 erläutert.**

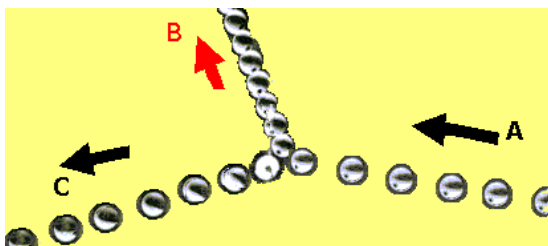
Aus diesen Formeln werden hier nun bestimmte Fälle herausgefiltert, z.B. solche Stoßsituationen, die sich durchweg mit ganzen Zahlen darstellen lassen. Es ist kein Hokusfokus, sondern basiert auf einer einfachen Filterfunktion, siehe Abb. 12, Fußnote 2. Wenn spezielle Funktionen herausgelöst und als leicht berechenbare Serien dargestellt werden, dann handelt es sich nicht um eine Vereinfachung der Physik, sondern eher um eine schulgerechte Aufbereitung. Ein angenehmer Nebeneffekt ist, dass einige Grundlagen der Physik und Teile der Speziellen Relativitätstheorie SRT in einem völlig anderen Licht erscheinen. Es ist eine SRT zum Anfassen.

In den meisten Fällen der Mehrteilchenkollision sind keine Formeln bekannt. Hier behilft man sich mit einem Modell, das formal auf dem COMPTON-Effekt beruht. Man zerlegt z.B. einen Zweierstoß in die folgenden vier Teilprozesse: Partner A zur Ruhe bringen, Partner B zur Ruhe bringen, Partner A in Bewegung versetzen und Partner B in Bewegung versetzen. Damit kann der Stoß mit vier Computerbausteinen nachvollzogen werden. Die Kunst besteht darin, passende (virtuelle) Gammaquanten zu finden, die einen Ringschluss der vier kombinierten COMPTON-Effekte herbeiführen, wobei also alle vorgeschossenen virtuellen Gammaquanten infolge des Ringschlusses exakt wieder abgeliefert werden. In erster Linie interessiert hier die Geometrie dieser Gammaquanten. Das Instrumentarium des mehrstufigen COMPTON-Effekts wird zur Grundlage der Stoßbehandlung, siehe Abschnitt bzw. Punkt 4 und 8.



**Abb. 2: Schema über die geometrische Anordnung von Bausteinen. Mit dem Computer wird probiert, dass ein Ringschluss zustande kommt. Ein systematisches Vorgehen führt auch ohne Probieren zum Ziel, ist aber nicht mehr schulgerecht und macht keinen Spaß mehr.**

Filtert man einen Stoß aus den eingangs genannten Formeln heraus, so stellt man fest, dass dieser Stoß auch Comptongemäß ist, d.h. dass der mehrstufige COMPTON-Effekt stets befolgt wird. Wählt man also bestimmte Serien aus, dann gelangt man zu Stößen, die sogar für Schüler berechenbar sind. Je nach der Anzahl der Impulse wird eine **Dreieckserie (für den Zweierstoß im Laborsystem)** und eine **Fünfeckserie (für den Dreierstoß im Laborsystem)** sowie Serien konkaver bzw. konvexer bzw. räumlicher **Vierecke (für den Zweierstoß ohne Laborsystem)** unterschieden.



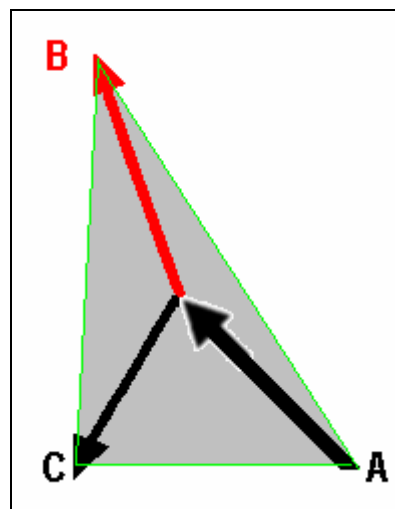
**Abb. 3: Stroboskopische Aufnahme eines Billardkugelstoßes auf eine ruhende Kugel [3].**

Zu jedem Impuls gehört natürlich eine kinetische Energie und jede Ecke des Vielecks hat einen solchen Zahlenwert, der sich zum Schluss als Seitendifferenz erweist. Diese Zahlen sollen als ganze Zahlen von den Schülern vorgegeben werden. Aus den komplizierten relativistischen Funktionen werden also Serien ausgewählt und als **schulgerechte Stöße** bezeichnet. Diese Stöße sind gleichzeitig auch **comptongemäß**. Alle Serien zeigen folgende zwölf Merkmale, die als Abschnitte gegliedert sind.

**1) Die Physik wird zur Geometrie**

Wer die Physik auf die Geometrie reduzieren will, der muss zunächst die beteiligten physikalischen Größen abschaffen. Ein Vieleck ist kein Diagramm, wo links Meter und rechts Sekunden aufgetragen werden. Für die Physik der Stöße bedeutet dies eine Reduktion auf den Impuls, d.h. eine Abschaffung

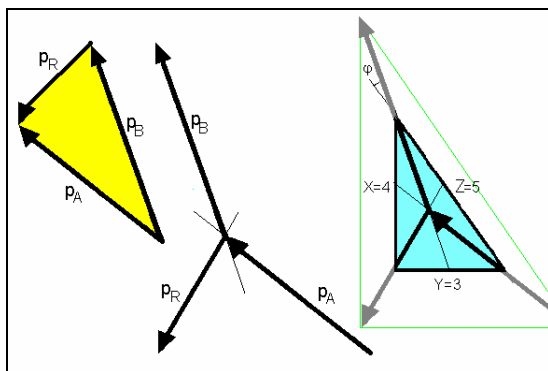
von Masse und Energie. Ein Photon kann mittels  $c$  ohne weiteres aus Energie bzw. Masse umgewandelt werden in eine Impulsgröße, doch bei Teilchen gibt es Probleme, die jedoch gelöst werden. Die Impulsphysik wird damit zur Schulgeometrie. In der Impulswelt gibt es keinen Weg und keine Zeit, sondern nur zum Vieleck verbundene Impuslängen mit den implizit eingeschlossenen Winkeln. Die Begriffe Masse und Geschwindigkeit verwandeln sich in mathematische Hilfsvorstellungen, so wird z.B. die Masse im Dreieck zur Summe der Dreiecksseiten. Die Frage, ob Impulse nur aus Punkten oder nur aus Längen bestehen, wird bereits durch die Geometrie des Dreiecks beantwortet; denn nur der Dualismus von Punkten und gerichteten Längen wie auch der Dualismus des Lichts als Teilchen und Welle entspricht den Erfordernissen. Der Zeitbegriff gibt sich in abgerüsteter Form als Impulsrichtung zu erkennen. Der Impuls ist eine souveräne Erhaltungsgröße, die man geradezu als eine höhere Welt mit Respekt behandeln sollte, weil der Impuls die Zukunft mit geometrischer Präzision voraussagen kann. Für einen verstärkten Einsatz des Impulsbegriffes in der Schule wird auch von der Didaktik der Physik plädiert [4]. Zwei Zitate von EINSTEIN verdienen es, hier genannt zu werden. "Die Mathematik handelt ausschließlich von den Beziehungen der Begriffe zueinander ohne Rücksicht auf deren Bezug zur Erfahrung" [5]. "Insofern sich die Sätze der Mathematik auf die Wirklichkeit beziehen, sind sie nicht sicher, und insofern sie sicher sind, beziehen sie sich nicht auf die Wirklichkeit" [5].



**Abb. 4: Zur Bezeichnung der Impulse beim Stoß im Laborsystem wird so verfahren, dass das stoßende Teilchen den Index A und das gestoßene Teilchen, welches vorher im Ruhezustand war, den Index B (mitunter auch T als Target) erhält. Der Index C markiert das Teilchen A nach dem Stoß. Man könnte den Impuls C als reflektierten Impuls A betrachten, und deswegen wird statt C im Weiteren der Index R gesetzt.**

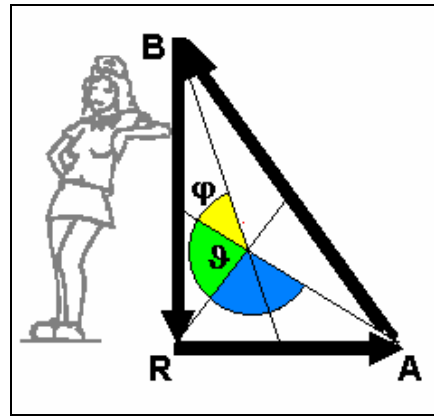
**2) Ohne Bewegung kein Impuls, keine kinetische Energie, keine Massenzunahme**

Die kinetische Energie  $e_{kin}$  entspricht einem Äquivalent  $\Delta$  der Masse gemäß der EINSTEIN-Formel  $e_{kin} = \Delta \cdot c^2$ . Mit anderen Worten: Ohne Bewegung gibt es keine relativistische Massenzunahme. Wenn jedoch zwei kollidierende Teilchen vorliegen, dann treten vier oder mindestens drei Impulse auf. Letzteres ist beim „Laborsystem“ der Fall, wenn vorher oder hinterher ein ruhendes Teilchen vorliegt. Fragen des Bezugssystems bleiben außen vor, d.h. die Fragestellung: „was wäre, wenn die ruhende Masse sich bewegt“ ist sophistisch, weil der geometrische Impulsverbund eine unverrückbare Ganzheit ist. Es sei vorwegnehmend angedeutet, dass die ruhende Masse im Laborsystem eine Plattform bildet, die ausnahmslos für alle virtuellen Photonen und für alle Teilchen sowohl Landeplatz als auch Startplatz ist. Man kann von einem gebundenen Zustand sprechen, weil der elastisch und relativistisch verlaufende Stoß in Gestalt der Impulse kurzzeitig gebunden ist. In nicht trivialer Weise lässt sich zunächst konstatieren, dass drei Impulse ein Dreieck und vier Impulse ein Viereck ergeben.



**Abb. 5:** Links im Bild sind die Teilchenimpulse zu einem Dreieck verbunden, doch dies ist hier nebensächlich. Wichtig ist, die Impulse durch Parallelverschiebung so anzuordnen, wie es rechts im Bild zu ersehen ist. Die Teilchenimpulse liegen im mathematischen Schwerpunkt übereinander. Das umhüllende Dreieck ist das Ziel der Impulsmanipulation. Dass hier sämtliche Teilchenimpulse  $p=2 \cdot s$  doppelt so lang sind wie ihre Seitenhalbierenden, ist in Punkt 10 erläutert.

Die Abb. 5 veranschaulicht, welche Bewandnis es mit der nicht trivialen Anordnung der Impulse hat. So wird am rechtwinkligen Dreieck mit den Seiten 3, 4, 5 gezeigt, wie die Impulse eine geradezu untergeordnete Stellung, nämlich als Seitenhalbierende erhalten. Beim Viereck liegen je nach Typ die Verhältnisse anders. Wenn die Seiten als Impulse ganze Zahlen sind, dann lassen sich mit  $c=1$  die Energien, Geschwindigkeiten und Winkel ebenfalls durch ganze Zahlen darstellen, siehe auch Abb. 6.



**Abb. 6:** Die Bezeichnung der Seitenhalbierenden richtet sich nach der Ecke, in die sie münden. Wenn die Seiten des Impulsdreiecks ganze Zahlen sind, lassen sich die Winkel mit den Beispielwerten von Abb. 5 ebenfalls ganzzahlig darstellen, nämlich  $\tan \theta=18$  und  $\tan \phi = (18/25)$ . Die Winkel am Schwerpunkt, d.h. am Schnittpunkt der Seitenhalbierenden betragen  $w_{BA}=144,246^\circ$   $w_{AR}=93,180^\circ$   $w_{RB}=122,574^\circ$  und sind ebenfalls mit ganzen Zahlen darstellbar.

**3) Ruhmassen nehmen beim Stoß die Form eines Dreiecks, Vierecks oder Fünfecks an**

Die Massen lassen sich mittels  $c^2$  formal in ein Gebilde aus Energie umwandeln. Diese von EINSTEIN gefundene Äquivalenz von Masse und Energie erleichtert die Aufweichung des Begriffes „punktförmiges Massenteilchen“ hin zum Energieklümpchen, welches geometrisch die Form eines Dreiecks oder Vierecks annehmen soll! Die bewegten Ruhmassen verwandeln sich in einen eckigen Ringvektor, der aus Energie  $e=m \cdot c^2$  besteht. Geht man von zwei gleichen bewegten Ruhmassen aus, dann werden diese sozusagen umgewandelt in einen drahtförmigen Ring aus Masse. Der Draht besteht analog zum Vieleck aus geraden Stücken und Ecken. Es sind so viele Ecken erforderlich, wie es Impulse bzw. kinetische Energien  $e_{kin}$  gibt. Zwei gleiche Ruhmassen mit unterschiedlicher Energie vor und nach dem Stoß führen zu einem Viereck, dessen Umfang (bei bestimmten Typen) beide Ruhmassen verkörpert. Beim Dreieck liegt, wie eingangs erklärt, eine ruhende Ruhmasse vor, die keinen Beitrag zum Umfang liefert, wie später zu erörtern ist.

Abb. 7 zeigt eine Parodie, zu der ergänzend bemerkt werden muss, dass A. EINSTEIN in einem Interview bei der amerikanischen Zeitschrift *The Reporter* [6] zitiert wird: “Wenn ich noch einmal ein junger Mann wäre und mich entscheiden sollte, wie ich mein Brot verdiene, dann würde ich nicht versuchen, Wissenschaftler, Gelehrter oder Lehrer zu werden. Ich würde mich ehr für den Beruf eines Klempners oder Hausierers entscheiden, weil ich die Hoffnung hätte, das bescheidene Maß an Unabhängigkeit zu finden, das unter den gegenwärtigen Umständen überhaupt noch vorhanden ist.“



**Abb. 7: EINSTEIN als Klempner, der eine SRT zum Anfassen konstruiert. Das Bild dürfte Betroffenheit auslösen, aber EINSTEIN selbst hatte einmal geäußert, er wäre lieber Klempner geworden, wenn auch in einem anderen Kontext.**

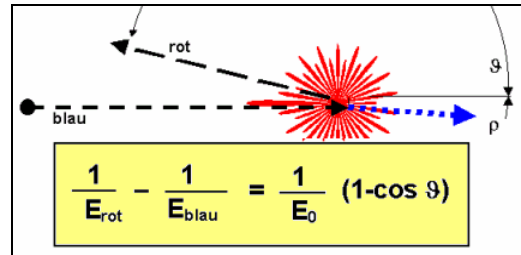
Die Abb. 7 und die Vorstellungen werden im Punkt 5 vertieft, hier geht es zunächst um den Umfang, der wie ein eckiger Autoreifen im Zentrum leer ist. Der Schwerpunkt liegt zwar im Mittelpunkt, doch die Masse liegt außen.

#### 4) Der COMPTON-Effekt ist ein entscheidendes Instrumentarium

Jede einzelne Ecke des Vielecks besitzt Merkmale eines COMPTON-Effekts, einmal wegen des auftretenden Teilchens und einmal wegen der beiden angrenzenden Photonenimpulse mit den Energien  $e_{\text{blau}} = m_{\text{blau}} \cdot c^2$  und  $e_{\text{rot}} = m_{\text{rot}} \cdot c^2$ , wobei  $m_{\text{blau}}$  und  $m_{\text{rot}}$  fiktive Photonenmassen vor und nach dem Stoß bezeichnen. Diese verkörpern also zwei benachbarte Seiten des Vielecks.

COMPTON stellte fest, dass ein Photon wie ein Teilchen reagiert, und E. SCHMUTZER [7] beschreibt den Effekt wie folgt: „Trifft ein Photon der Frequenz  $\nu$  auf ein Elektron, so kommt es zu einem Stoß, wobei sich der Impuls beider Stoßparameter verändert. Man kann dieses Phänomen dadurch verständlich machen, indem man das Photon als ein Teilchen mit dem Impuls  $p = h\nu/c$  ansieht und auf beide Partner die mechanischen Stoßgesetze anwendet.“

Der COMPTON-Effekt, der im deutschen Sprachraum in ca. 40 Fällen Gegenstand von Patenten ist, bezeichnet die durch ein Photon ausgelöste Bewegungsänderung eines elementaren Teilchens, wobei ein gestreutes, verändertes Photon entsteht.



**Abb. 8: Ein energiereiches Photon (hier als blau bezeichnet) stößt auf ein ruhendes Teilchen mit einer Ruhmasse  $E_0/c^2$ , welches in Bewegung versetzt wird unter Aussendung eines energiearmen Photons (hier als rot bezeichnet). Die Wellenlängenverschiebung des Photons hat der Gleichung den Namen Verschiebungsformel von COMPTON gegeben.**

Die Kopplung mehrerer COMPTON-Effekte, wie bereits in Abb. 2 gezeigt, lässt sich so gestalten, dass ein den COMPTON-Prozess „eins“ verlassendes Photon als Eingangsphton für den COMPTON-Prozess „zwei“ dient. Dessen austretendes Photon dient als Eingangsphton für den COMPTON-Prozess „drei“. Dessen austretendes Photon kann nun entweder einem weiteren Prozess „vier“ oder dem Prozess „eins“ zugeführt werden, in jedem Fall bedarf es einer Abstimmung dergestalt, dass nach frühestens drei Stufen ein Kreisprozess entsteht. Das anfangs eingesetzte oder ausgeborgte Photon für Prozess „eins“ muss vom Prozess „vier“ wieder abgeliefert werden. Folgt man der herrschenden Auffassung, dass das jeweils veränderte Photon eines COMPTON-Effekts kein neues Photon ist, sondern als ein hinsichtlich der Energie verändertes Photon betrachtet wird, dann erfährt die Entität des besagten Photons einen mehrfachen Wechsel. Dieser mehrstufige COMPTON-Effekt dient hier als Instrumentarium zur Stoßbehandlung. Wie bereits betont, ist ein **comptongemäßer Stoß** oft gleichzeitig ein **schulgerechter Stoß**.

Vorerst soll kein Unterschied zwischen den Photonen von COMPTON und den Bruchstücken von COMPTON (Abb. 7) oder Ruhmasse  $m_0$  bestehen, beide besitzen eine Masse, beide haben Lichtgeschwindigkeit, beide lassen sich in Impulse umrechnen. Die Konsequenz ist, dass **fiktive Masse und gestückelte Ruhmasse gleichgesetzt werden**.

#### 5) Beim Vieleck ergibt sich analog zum COMPTON-Effekt die Energie $e_{\text{kin}}$ als Differenz zweier anliegender Seiten, an jeder Ecke für jedes Teilchen und für jeden Impuls

Eine weitere Analogie zum COMPTON-Effekt betrifft die kinetische Energie  $e_{\text{kin}}$  des aus dem Ruhezustand ausgelenkten Teilchens.

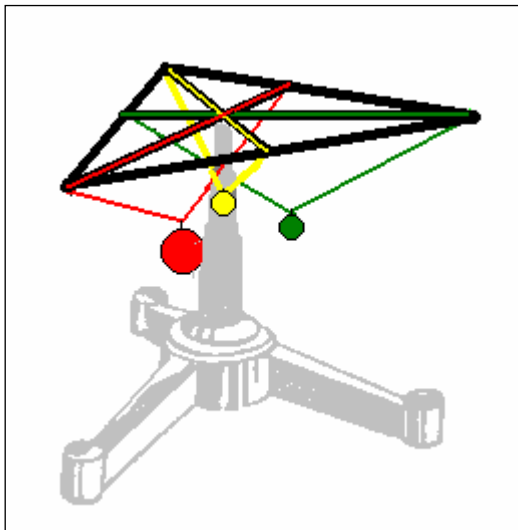
$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

$$\left(\frac{m_0}{m}\right)^2 + \left(\frac{v}{c}\right)^2 = 1$$

Die Energiedifferenz der besagten beiden Photonen entspricht dieser Energie  $e_{kin}$  des in Bewegung versetzten Teilchens. Hier geht es um den Kern der Relativitätstheorie bzw. SRT, nämlich um die Massenzunahme, wie in Abb. 9 als Funktion der Geschwindigkeit angezeigt

**Abb. 9: Lorentzformel in zwei Schreibweisen**

Hier wird die spezielle Masse, nämlich die relativistische Massenzunahme  $m - m_0$  als  $\Delta$  bezeichnet. Es ist gewissermaßen die **materialisierte kinetische** Energie. Der „Draht“ des Vielecks von Abb. 7 ist also nur an denjenigen Stellen geknickt, wo sich als Differenz benachbarter Seiten das zuständige  $\Delta$  ergibt. Man bedenke, dass ein gleichseitiges Vieleck keine Seitendifferenzen aufweist und somit keinen Stoß nachzubilden gestattet. Das Drahtgebilde von Abb. 10 soll ausschließlich aus Masse bestehen. Die Bruchstücke der Ruhmasse verlaufen längs des Umfangs. Die Teilchenimpulse und die zugehörigen Massen  $\Delta$  (als Kugeln im Bild dargestellt) verlaufen längs der ausgezeichneten geometrischen Linien, z.B. beim Dreieck längs der Seitenhalbierenden. Das Vorhaben, alles als Masse darzustellen und die SRT mit den Händen begreiflich zu machen, wird wie gesagt, bei den Fachleuten Befremdung auslösen. Das Vorhaben verliert aber seine Problematik, wenn statt Massen nur noch Impulse verwendet werden, doch Impulse kann man nicht anfassen.

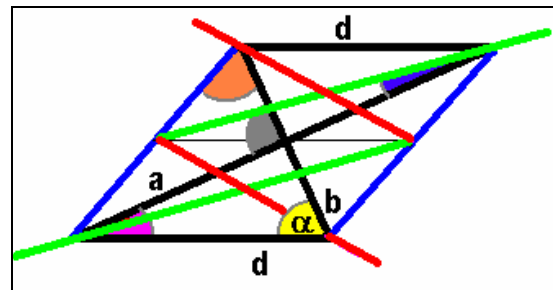


**Abb. 10: Das Gebilde besteht aus Massen, einmal aus Ruhmassen und einmal aus Zusatzmassen  $\Delta$ , die hier durch Kugeln verkörpert werden. Die Darstellung mit Massen ist ebenso wie mit Impulsen austariert, d.h. im Schwerpunkt unterstützt.**

Allgemein verlaufen die Teilchenimpulse längs der ausgezeichneten geometrischen Linien, also quasi als Radspeichen eines eckigen Rades. Es besteht trotzdem ein Konflikt zwischen Teilchenimpuls und Bewegungsmasse, d.h. kinetischer Energie und es bleibt festzuhalten, dass die Bewegungsmasse  $\Delta$  nicht in die Ebene passt, sondern senkrecht zur Ebene konstruiert werden muss, siehe Kugeln in Abb. 10. Weil Bewegungsmasse geometrisch durch die Seitendifferenz verkörpert wird, ist sie auch als Abweichung vom gleichseitigen Dreieck denkbar.

**6) Die Ruhmasse wird als mathematischer Begriff deklariert**

Dazu dient die in Abb. 8 genannte Verschiebungsformel mit  $1/E_{rot} - 1/E_{blau}$ . Die Energien können allesamt einschließlich  $1/E_0$  als Impulse geschrieben werden, da alle den Charakter von Photonen haben.



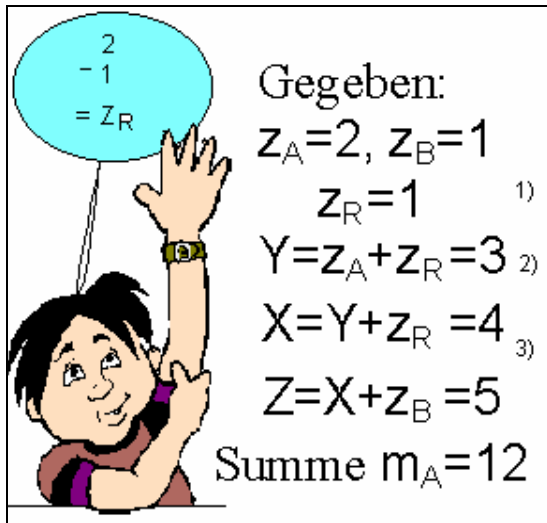
**Abb. 11: Konvexes Impulsviereck eines Stoßes zweier gleicher bewegter Massen. Der entsprechende Photonenpfad mit den Seiten a, d, b, d, a hat eine X-förmige Gestalt. Alle Seiten des Vierecks kann man entweder einheitlich als Masse oder einheitlich als Impuls auffassen. Der Winkel  $\alpha$  muss eigentlich in die COMPTON-Formel als Supplementwinkel eingesetzt werden und bewirkt ein Minuszeichen vor dem Kosinus.**

Der Umfang der Fläche (z.B. beim konvexen Viereck) entspricht zahlenmäßig der doppelten Ruhmasse  $m_0$ , wenn gleiche Massen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit angenommen werden. Betrachtet man in Abb. 11 eine Ecke mit dem Winkel  $\alpha$ , der die Seiten b und d einschließt, dann folgt  $m_0 = (a + b + d + d) / 2 = (1 + \cos(\alpha)) / (1/b - 1/d)$ . Es lässt sich  $m_0$  ausklammern und alles komplett in die Geometrie übertragen. Am Beispiel des Dreiecks wurde in [8] eine Ableitung eines Impulsdreiecks vorgenommen. Dazu bedurfte es keiner hochgestochenen Geometrie, sondern es genügte die Schulgeometrie. Analog zu der eben gezeigten Behandlung von  $m_0$  gelang es, die Ruhmasse in die Impulsdarstellung einzuführen bzw.  $m_0$  auszuklammern. Das überraschende Ergebnis dieser Ableitung war neben der Feststellung **Seitenumfang = Ruhmasse** hauptsächlich die von EINSTEIN stammende Impuls-Energie-Beziehung. Es erhob sich die Frage, wie es möglich ist, dass aus der Geometrie die SRT hervorgeht? Das verwendete Instrumentarium von COMPTON liefert keine

befriedigende Antwort. Statt nach weiteren Antworten zu suchen, soll hier besser EINSTEIN zu Wort kommen: "Seit die Mathematiker über die Relativitätstheorie hergefallen sind, verstehe ich sie selbst nicht mehr" [5].

**7) Der Zugang zu den schulgerechten Stößen erfolgt am besten über die kinetischen Energien bzw. über die Seitendifferenzen**

Im physikalischen Fall reichen die kinetischen Energien (d.h. Massenzunahmen) nicht aus, um einen Stoß mit allen Parametern festzulegen. Beim schulgerechten Stoß gibt man weder Impulse noch Massen vor, allein zwei Werte  $\Delta$  genügen. Im weiteren wird statt  $\Delta$  das Zeichen  $z$  für Zusatzmasse verwendet. Man berechnet beim Dreieck den dritten  $z$ -Wert aus  $z_A = z_B + z_R$  wegen eines geometrischen bzw. physikalischen Erhaltungssatzes. Mathematisch sind die Seitendifferenzen allein nicht ausreichend, um ein Vieleck vollständig zu bestimmen, es bedarf einer einzigen **zusätzlichen** Bedingung, einer **Filterformel**. So genügt beim Dreieck eine Kopplung von  $z_A + z_R$  mit  $Y$ . Nur wenige Werte erfüllen dies, und deshalb existiert hier für jede Kombination von Ruhmassen nur ein Wert, was Impuls, Energie, Winkel und Geschwindigkeit anbetrifft.



**Abb. 12: Schüleraufgabe und Lösung. Die Fußnoten besagen 1) Erhaltungssatz, 2) im Text erklärte Filterformel als zusätzliche Bedingung, 3) reguläre Bildung der Seitendifferenzen.**

Drei Impulse charakterisieren den Stoß eines bewegten Teilchens A auf ein ruhendes Teilchen B. Nach dem erfolgten elastischen Stoß dirigieren die Impulse  $p_B$  und  $p_R$  die weitere Zukunft der Teilchen. Es wird eine weitergehende Aufgabe gestellt. Neben der Masse genügt es, nur die Impulsbeträge ohne die eingeschlossenen Winkel vorgegeben. Zur Vereinfachung werden alle Quadrate der Impulse als ganze Zahlen dargestellt. Die gestellte Aufgabe lautet, die passende Ruhmasse  $m_{B0}$  zu finden, die den drei beliebig vorgegebenen Stoßimpulsen genügt. Als Hilfestellung wird noch die Masse  $m_{A0}$  und ihre auf

$c$  bezogene Anfangsgeschwindigkeit  $\beta_A$  mitgeteilt. Beispielwerte sind  $m_{A0}=12$ ,  $\beta_A=\sqrt{(52)/14}$  und die Impulsquadrate  $p_A^2=52$ ,  $p_B^2=73$ ,  $p_R^2=25$  unter Maßgabe von  $p_A^2 < p_B^2$ ,  $m_{A0} < m_{B0}$ . Die Maßeinheiten spielen eine untergeordnete Rolle, man kann einheitlich  $kg \cdot m/s$  annehmen, die Massen sind dann ebenfalls in  $kg$  anzugeben.

Man berechne die (Ruh-) Masse des ruhenden Stoßpartners B für den Fall mittlerer Bewegung, deren Größe durch den oben gegebenen Wert  $\approx 0,515$  für  $\beta_A$  charakterisiert ist. Des Weiteren ermittle man unter Beibehaltung der Impulsbeträge und Winkel zwei Teilaufgaben für Stöße, einmal für eine extrem kleine und einmal für eine extrem große Bewegung. Als sehr langsame Geschwindigkeit kann man statt null  $\beta_A=10^{-12}$  annehmen. Als extrem große Geschwindigkeit kann man  $\beta_A \approx 1$  oder besser  $\beta_A=1-10^{-12}$  annehmen und man erkennt im Resultat, dass beide Ruhmassen klein werden. Man ermittle für die drei verschiedenen Geschwindigkeiten  $\beta_A$  die zum Impulsdreieck jeweils passenden Ruhmassen! Lösung für das Beispiel:

Vorgegebener Fall  $m_{B0}=36$  .....  $m_{A0}=12$   
 extrem langsam  $m_{B0}=(292/9) \cdot 10^{12}$  ...  $m_{A0}=12 \cdot 10^{12}$   
 extrem schnell  $m_{B0}=15,4021 = \sqrt{73}/(2-d) - d/2$  mit  $d=\sqrt{52}-\sqrt{25}$  .....  $m_{A0}=12 \cdot 10^{-12}$

**8) Der Impuls folgt entweder aus der Physik oder aus der Geometrie**

Für den Leser stellt sich die Frage, wie diese Zweigleisigkeit von Physik und Geometrie zu verstehen ist? Es sind einmal die eingangs genannten Formeln [1], [2], die die physikalische Erfahrung widerspiegeln, zum anderen ist das Instrumentarium von COMPTON ein weiterer Zugang. Der Vergleich beider Wege gestattet es, Aussagen zu treffen, dass z.B. ein Faktor 2 zwischen den Seitenhalbierenden und den Teilchenimpulsen eingeführt werden muss. Der geometrische Weg geht davon aus, dass das Dreieck die drei Teilchenimpulse in Form der Seitenhalbierenden enthält. Wie man aus den Seitenhalbierenden die Dreieckseiten erhält, das geht aus der Tabelle von Abb. 13 hervor.

Schulbuch-Mathematik		Impuls-Physik
$s_a = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2 \cdot (b^2 + c^2) - a^2}$		$p_R = \sqrt{2 \cdot (X^2 + Y^2) - Z^2}$
$s_b = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2 \cdot (a^2 + c^2) - b^2}$		$p_S = \sqrt{2 \cdot (Z^2 + Y^2) - X^2}$
$s_c = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2 \cdot (a^2 + b^2) - c^2}$		$p_T = \sqrt{2 \cdot (Z^2 + X^2) - Y^2}$
$a = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot (s_b^2 + s_c^2) - s_a^2}$		$Z = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot (p_S^2 + p_T^2) - p_R^2}$
$b = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot (s_a^2 + s_c^2) - s_b^2}$		$X = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot (p_R^2 + p_T^2) - p_S^2}$
$c = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot (s_a^2 + s_b^2) - s_c^2}$		$Y = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot (p_R^2 + p_S^2) - p_T^2}$

**Abb. 13: Seitenlängen und Seitenhalbierende, siehe Formel 6 und in [8 S. 8], hierin bedeuten T Target, S stoßendes Teilchen und R reflektiertes Teilchen S. Siehe auch KIMBERLING [9].**

$$\begin{aligned}
 (m_{A0} + \Delta_A) + m_{B0} &= (m_{R0} + \Delta_R) + (m_{B0} + \Delta_B) \\
 (m_{A0}^2 \cdot c^4 + p_A^2 \cdot c^2) &= (m_{A0}^2 \cdot c^2 + \Delta_A \cdot c^2)^2 = \\
 &= E_{ges}^2 = (m_A \cdot c^2)^2 \\
 m_{A0}^2 + p_A^2 &= (m_{A0} + \Delta_A)^2 = m_A^2 \quad c=1 \\
 p_A^2 / c^2 &= 2 \cdot m_{A0} \cdot \Delta_A + \Delta_A^2
 \end{aligned}$$

Abb. 14: Zur Impuls-Energie-Beziehung [10].

Die Umrechnung von Masse, Impuls, Energie ist beim Photon einfach, weil sich mit  $c=1$  gleiche Zahlen ergeben. Bei Teilchen mit Ruhmasse bereitet der Impuls Schwierigkeiten, weil die Impulsformel  $p=e/c$  für Photonen von F. HASENÖHRL nicht mehr gilt. Die Physik benutzt zur Impulsberechnung die Impuls-Energieformel von EINSTEIN, siehe 2. Zeile in Abb. 14. Diese führt in Masse-Einheiten zu Zeile 4. Setzt man  $\mu^2=m^2-m_0^2$ , dann ist  $\mu$  eine fiktive Masse, die den Teilchenimpuls  $\mu \cdot c$  ergibt. Damit erhält man eine Relation, die für die weiteren Ausführungen wichtig ist:  $p=\mu \cdot c=(m_0+\Delta) \cdot v$ .

9) Die Geschwindigkeit  $v$  als Abkürzung eines Umweges mit Tempo  $c$

Es soll nun eine neuartige Deutung der Geschwindigkeit gefunden werden, wozu man einen Umweg mit Tempo  $c$  und eine Abkürzung mit Tempo  $v$  benötigt.

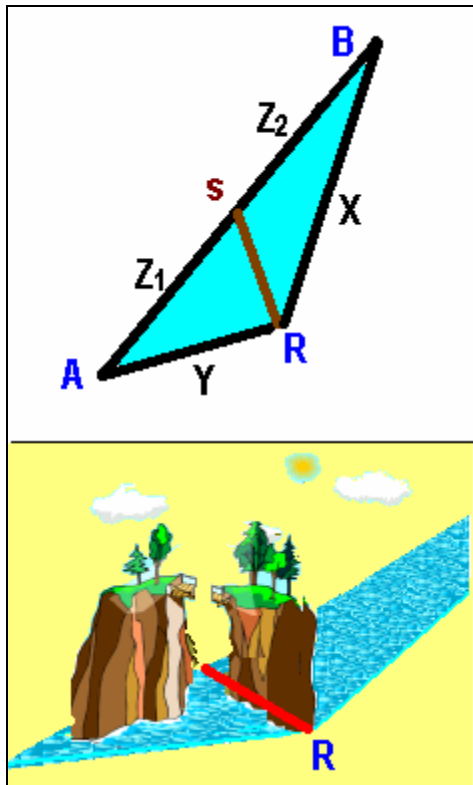


Abb. 15: Ein See mit einer Brücke, beginnend am Punkt R. Die Brücke ist eine gerade Verbindung, hier rot markiert. Die beiden Felsen weisen auf die senkrechte Einbindung von  $\Delta$  hin.

Was bedeutet dieses  $v$  bei einem Teilchen mit  $m_0=12$  und  $c_{kin}=1$ ? Gewöhnlich wird  $v$  ins Verhältnis zur Lichtgeschwindigkeit  $c$  gesetzt und als  $\beta$  (hier  $\beta \approx 0,38$ ) bezeichnet. Man kann dies als eine Abkürzung von 62% gegenüber  $c$  auffassen und stelle sich dazu das Vieleck als einen See mit einer Brücke vor! Die Brücke repräsentiert einen Fahrweg mit Tempo  $v$ , während das Ufer als Umfang einen Fahrweg mit Tempo  $c$  verkörpert.

Der physikalische Hintergrund dafür lautet  $v=(m \cdot v)/m$ , wobei  $m$  aus Ruhmasse und aus der Zusatzmasse  $\Delta$  zusammengesetzt ist, siehe Abb. 14. Beim Dreieck mit den Ecken A, B, R besteht das Ufer bzw. der Umfang aus den drei Seiten X, Y, Z, welche die Impulse der Bruchstücke der Ruhmasse  $m_{0A}$  verkörpern. Die Überbrückung verläuft von R bis s längs der Seitenhalbierenden. Die beiden „Fahrwege“ seien mit den Märchenfiguren Hase und Igel verglichen. Punkt R sei gemeinsamer Startpunkt und Zielpunkt vom Hasen  $c$  und Igel  $v$ . Der Hase umrundet schnell den See, während der Igel nur einmal langsam über die Brücke hin und zurück marschiert, diesmal abweichend vom Märchen ohne Trick und ohne seine Igelfrau. Gemeinsam sollen die beiden Läufer Hase und Igel am Punkt R wieder eintreffen, die „Laufzeit“ beträgt  $\mu / v = (m_0+\Delta)/c$ . Die Zuordnung ist klar, die Seitenhalbierende gehört zum Igel und der Uferweg gehört zum Hasen. Was aber bedeutet in Abb. 15 der Felsen? Das Bild ist eine groteske Übertreibung, die auf den Umstand hinweisen soll, dass der Hase nicht nur den Uferweg ( $=m_0$ ), sondern noch eine Verlängerung des Weges ( $=\Delta$ ) zurücklegen muss. Die Erhöhung  $\Delta$  des Uferweges ist der springende Punkt, man kann mittels einer senkrechten beiderseitig begehbaren Treppenleiter am Punkt S den Weg verlängern, aber aus der Ebene heraus, wie bereits bei Abb. 10 angedeutet wurde. Erwartungsgemäß erweist sich der Teilchenimpuls als das Doppelte von  $s$ , siehe Punkt 10. Im Falle einer hohen Geschwindigkeit ( $\beta \approx 1$ ) funktioniert diese eigenartige Deutung immer noch, obwohl die relativistische Masse  $\Delta$  ein Vielfaches der Ruhmasse ist. Jetzt gewinnt die bisher unbedeutende „Erhöhung“ gegenüber dem Uferweg an Bedeutung und Gewicht. Dass es aber dem Modell an Universalität mangelt, sieht man bei der ruhenden Masse B mit  $\beta_B \approx 0,23$ , siehe Punkt 10. Elegant erscheint ein Bild mit einem gleichseitigen Dreieck, dessen Seitendifferenzen durch Auslenkungen aus der Ebene erzeugt werden, wobei die Erhöhung  $\Delta$  als Uferwegverlängerung mit den Auslenkungen aus der Ebene konform gehen. Der Drehimpuls steht auch senkrecht zur Drehebene.

Der andere Fall, nämlich die gewöhnliche mechanische Geschwindigkeit einer Billardkugel verschließt sich zunächst einer solchen Deutung, weil man den Umweg mit Tempo  $c$  nicht kennt. Dies liegt an der isolierten Betrachtung der Billardkugel und muss im Verbund der Impulse gesehen werden.

10) Die unglaubliche Deutung von  $v/c$ , demonstriert mit Zahlen am Dreieck

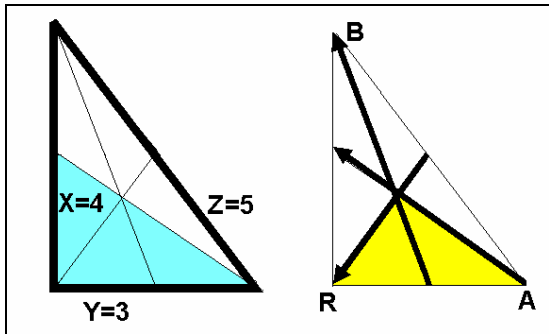


Abb. 16: Überbau und Unterbau eines Dreiecks. Im linken Teil sind die Seitenlängen  $Z, X, Y$  fett gezeichnet, rechts sind die Seitenhalbierenden  $A, B, R$  hervorgehoben und fett gezeichnet. Die vorgegebenen ganzen Zahlen  $X, Y, Z$  ergeben über die Quadrate der Seitenhalbierenden die Impulsquadrate  $p_A^2=52, p_B^2=73$  und  $p_R^2=25$ . Generell gilt beim Dreieck, dass nur der halbe Impulswert als Seitenhalbierende Platz findet. Das Bild dient als Skizze zu den Zahlen aus Abb. 12 und 13.

In Fortsetzung des Gesagten kann man ausrechnen:  $\beta_R = \sqrt{25/(12+1)} \approx 0,38$ . Dies sind nur 38% der Photonen-Wegstrecke, die mit  $c$  durchlaufen wird. Das Beispiel soll genauer betrachtet werden. Gegeben seien die Seitendifferenzen  $Z_A=2, Z_B=1$ , aus denen man anhand von Abb. 12 zu  $Z_R=1$  gelangt. Wichtig ist die bereits erwähnt Kopplung der Werte  $Z_A+Z_R$  mit der kleinsten Seite des Ruhmassendreiecks  $Y$ , woraus man zum Umfang und zu  $m_A=12$  kommt. Die im Text bereits häufig benutzte Summenformel  $m_A=X+Y+Z$  soll wegen ihrer Ähnlichkeit mit einem scherzhaft von EINSTEIN geäußerten Zitat verbunden werden: "Wenn A für Erfolg steht, gilt die Formel  $A = X + Y + Z$ .  $X$  ist Arbeit,  $Y$  ist Muse, und  $Z$  heißt Mundhalten." [5]

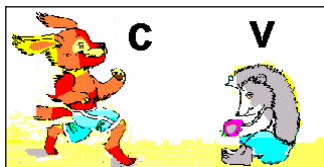


Abb. 17: Figuren aus dem Märchen vom Hasen und Igel. Hier bei  $v/c$  geht es aber um einen fairen Lauf.

Alle Impulse  $p$  berechnen sich als Seitenhalbierende  $s$  mit  $p=2 \cdot s$ . Am Schnittpunkt der  $s$ -Werte lassen sich die Winkel (z.B. Stoßwinkel nach Abb. 6 zwischen  $p_A$  und  $p_R$ ) ablesen. Aus Impuls  $p_A$  und Masse  $(m_A+Z_A)$  erhält man regulär die relative Geschwindigkeit  $\beta_A = \sqrt{52/(12+2)} \approx 0,51$ .

11) Beim Dreieck gilt ein „Hebelgesetz“  $m_B \cdot Z_B = m_A \cdot (Z_A + Z_R)$   
Ruhende Ruhmassen, wie sie beim Stoß im Laborsystem vorkommen, sind an einer Mitwirkung

am Vieleckumfang nicht beteiligt. Beim Impulsdreieck ist der Einfluss beliebiger Massenverhältnisse geklärt, es wirkt automatisch ein Hebelgesetz. Schnelle kleine Massen treten im Verbund mit langsamen großen Massen auf. Die Beispielwerte für das Dreieck liefern damit  $m_B=36$  und  $\beta_B = \sqrt{73/(36+1)} \approx 0,23$ . Bei bewegten ungleichen Massen entsteht ein Viereck, hier muss das Gesetz modifiziert werden, da z.B. nur  $Z_A$  und  $Z_B$  vorkommen. Beim gleichschenkligen Trapez treffen sich die Impulse nicht auf den Diagonalen, sondern in berechenbarer Weise auf der Mittellinie des Trapezes.

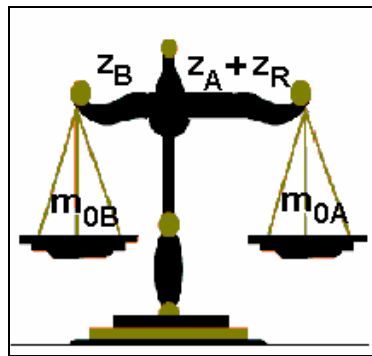


Abb. 18: Zur ungleicharmigen Waage.

Das Produkt aus Ruhmasse und seiner Zusatzmasse (vor und nach dem Stoß) ist konstant. Diese Produktformel für das Dreieck lässt sich noch spezialisieren zu  $m_A \cdot (1 - m_A/m_B) = 8 \cdot Z_R$  (siehe Formel 20 in [8]). Man kann dazu einen Stoßversuch anstellen, indem man Newtons Apfel in idealisierter Form mit der ruhenden Erde  $m_B$  zusammenstoßen lässt. Einen schulgerechten Stoß und einen Charakter von Elementarteilchen vorausgesetzt, muss der stoßende Körper mit den Eigenschaften eines Tennisballs so auf die Erde geworfen werden, dass er nahezu im Rechten Winkel mit  $93,337^\circ$ , genauer mit  $\arccos(-1/7)$  reflektiert wird. Zum Lot hin gemessen beträgt der Winkel  $46,68^\circ$  bzw. genauer  $\arcsin(3/\sqrt{17})$ , siehe Abb. 19. Nur dann gilt das Hebelgesetz. Kennt man die Masse des Apfels  $m_{0A}$  und seine reflektierte Energie  $Z_R$ , dann lässt sich mittels der spezialisierten Formel die Ruhmasse der Erde  $m_{0B} = m_{0A}^2 / (m_{0A} - 8 \cdot Z_R)$  berechnen.

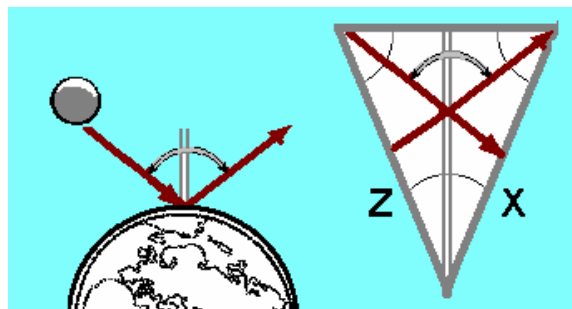


Abb. 19: Die Reflexion eines Tennisballs auf der Erde und die Bestimmung der Erdmasse.



**12) Verwandtschaften beim mechanischen Stoß mit Merkmalen der modernen Physik**

Gewisse Analogien zum Standardmodell der Physik sind vorhanden, seien es die Kernkräfte, die Quantenelektrodynamik, stationäre quantenähnliche Zustände oder sogar Elemente der Stringtheorie. Des Weiteren haben die Bruchstücke, in die die Ruhmasse zerfällt, eine Ähnlichkeit mit den Quarks, angefangen vom Dreieck bis zum Fünfeck und unabhängig davon, ob Hadron oder Lepton. Schließlich existiert ein Drehsinn, eine Reihenfolge, in der das Vieleck durchlaufen wird, was als Indiz für eine Gravitationsbewegung gewertet wird.



**Abb. 20: Patent „Konstruktion für eine Bündelung von Teilchenstrahlen durch elastische relativistische Kollision“ Aktenzeichen 10340 479.1 IPK: G21K 1/00 H05H 3/00 [11].**

Der genannte Drehsinn, in dem das Vieleck durchlaufen wird, befolgt einen Algorithmus über sprunghafte Verrückungen, siehe auch [12]. Des Weiteren kann der Stoß **berührungslos** verlaufen, weil die virtuellen Quanten die Ruhmassen sozusagen per Teleportation befördern, und zwar innerhalb der Grenzen des Impulsraums, den das Vieleck aufspannt. Bei den Vielecken oberhalb des Dreiecks gibt es außer den konkaven auch konvexe Typen sowie Fälle, die aus der Ebene herausragen. Die besagten Stöße sind nichts anderes als kombinierte COMPTON-Effekte, doch über die Regeln des Zusammenwirkens ist nur wenig bekannt. Eine andere Deutung geht von so genannten Gravonen aus, siehe Punkt 14. Der COMPTON-Effekt funktioniert nur bei elektrisch geladenen Partikeln. Neuere erfolgreiche Versuche mit Neutronen erfordern „quasi freie“ Neutronen, wie sie z.B. im Deuteron vorkommen [13].

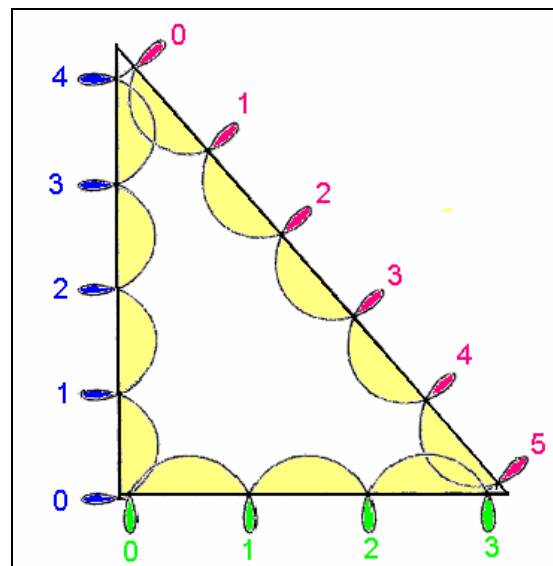
	Teilchenart B
Teilchenimpulse	$\sqrt{32}$
Bewegungsenergie	0,0005438676·2
Ruhmasse	1838,68366·8
Photonenimpulse	$\gamma = 2$
	Teilchenart A
Teilchenimpulse	$\sqrt{17} \pm 0,0098034$
Bewegungsenergie	$1 \pm 0,0005438676$
Ruhmasse	$8 \pm 0$
Photonenimpulse	$Z, X = 3 \pm 0,0005438676$

**Abb. 21: Ein im Patent behandelter Grenzfall.**

Abb. 20 verweist auf ein Patent der Autoren und Abb. 21 zeigt ein Beispiel daraus. Mit dem Teilchen B wird das Neutron und mit Teilchen A wird das Elektron gleichgesetzt. Das Massenverhältnis geht bereits in Richtung Grenzfall, welcher sich als gleichschenkliges Dreieck äußert, siehe auch Abb. 19. Ein angenähert anderer Grenzfall ist der Stoß zwischen Neutron und Proton, der sich fast auf einer Geraden abspielt. In Abb. 32 ist dieser fast gerade Stoß skizziert, wobei deutlich wird, dass es den geraden Stoß im Laborsystem überhaupt nicht gibt, weil ein senkrechter Impuls, der allerdings hinsichtlich der Energie verschwindend klein ist, auftritt.

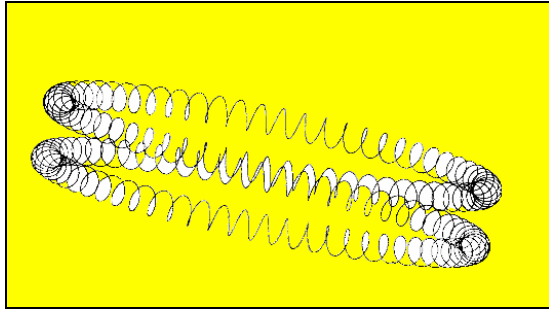
**13) Wie darf man sich eine stoßende Ruhmasse schulgerecht vorstellen?**

Die gestellte Frage ist vorsichtig zu beantworten, wenn man sich nur an die Tatsachen in der Impulsebene hält. Zu dem Zahlenbeispiel von Punkt 10 wird hier in Abb. 22 ein Bild unterbreitet, wie die Bruchstücke der Ruhmasse in Form ihrer Impulse aussehen könnten. Es sind räumliche Spiralfelder, wie sie HARTJE [14] beschreibt. In der Ebene des Dreiecks tauchen nur geometrisch scharfe Punkte auf, die die Zahlen auf der Impulsskala markieren. Der Photonenimpuls ist proportional zur Frequenz der elektromagnetischen Strahlung. Da es sich um Gammaquanten handelt, ist die Frequenz sehr hoch und mit den Impulseinheiten 3, 4, 5 kaum verwandt.



**Abb. 22: Umhüllung des Impulsdreiecks durch Wendeln eines geschlossenen Spiralfelds.**

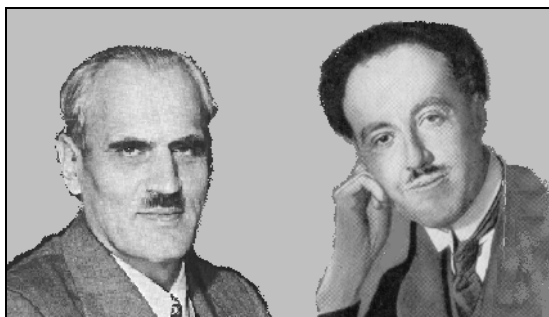
Einen anderen Fall [14] zeigt Abb. 23. Jede Wendel markiert nur einen Radius eines ganzen Schraubenfeldes. Der Abstand zweier Windungen der Spirale hängt auch von der Amplitude ab. Dieses mehr kontinuierliche Gebilde passt zwar besser zur Physik als Abb. 22, doch die für den Stoß berechnete Impulswelt ist eckig und lässt keine andere Wahl zu.



**Abb. 23: Schleife einer in sich geschlossenen Spirale mit 180 Windungen als Feldvorstellung.**

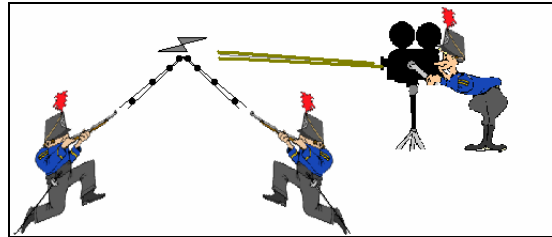
#### 14) Das Gravon als Ersatz für ein elektromagnetisch neutrales Photon

Man kann nicht behaupten, beim mechanischen Teilchenstoß seien noch nie Photonen beobachtet worden. Die Hochenergiephysik lebt geradezu von der durch Teilchenkollision verursachten Erzeugung von Photonen. Aber beim mechanischen Teilchenstoß in dem hier geschilderten Rahmen sind die Photonen als Bruchstücke der Ruhmasse virtuell. Es steht frei, für diese Spezies der Lichtteilchen einen anderen Namen zu erfinden, nämlich das Wort Gravon. Damit kann man sich ganz vom elektromagnetischen Charakter des COMPTON-Effekts trennen und nur noch von Wellen und Impulsen der Gravitation sprechen. Die Annahme von Gravonen würde also einen formal analogen COMPTON-Effekt für neutrale Massen ohne Ladung ergeben. Dies hätte für die Deutung der Gravitation folgende Konsequenz. Die zum Vieleck aufgeblähte Ruhmasse bestünde dann aus Gravonen, die nicht einzeln herausgelöst werden können. Sie bestehen zwar aus Ruhmasse, sind aber ein eckiger Ring aus quasineutralen Photonen, die sich ebenfalls mit Lichtgeschwindigkeit bewegen. Die Ruhmasse verwandelt sich damit in einen Verband aus Gravonen, den man als Graviton oder - weil der Begriff bereits belegt ist - als „bewegte Ruhmasse“ bezeichnen könnte.



**Abb. 24: A. H. COMPTON (links) und L. DeBROGLIE (rechts), beide geboren 1892, fanden den Wellencharakter einmal für die Ruhmasse und einmal für die bewegte Masse.**

Nicht nur Ruhmassen, sondern auch definierte Bindungsenergien weisen den Charakter von Elementarteilchen dahingehend auf, dass eine analoge COMPTON Welle zugeordnet werden kann. Diese Andersinterpretation der Stoßformeln sollte also gelten für energiearme Energieklümpchen, die mit ebenfalls energiearmen Gravonen reagieren. Die Massenenergie ist ein freier Parameter. Wichtig ist die Tatsache, dass ohne relativistische Masse (als gesonderte Massenform, die also nichts mit ruhmassenähnlichen Energieklümpchen zu tun hat) keine Bewegung möglich ist.



**Abb. 25: Meisterschützen mit unglaublicher unwahrscheinlicher Zielgenauigkeit. Die präzise kollidierenden Teilchenstrahlen werden durch geometrisch genaue Hilfsstrahlen gesteuert.**

Experimentell ist nur der COMPTON-Effekt gesichert. Die Kopplung zweier solcher Effekte oder gar ein Ringschluss der Photonen ist höchst unwahrscheinlich. Das Modell der Gravonen beruht zwar auf derselben mechanischen Grundlage. Neu ist aber, dass die Ruhmassen mit ihrem gemeinhin punktförmigen Charakter die Gestalt eines im Zentrum leeren Torus annehmen und zu vieleckigen Figuren ausgedehnt werden. Das Gravon ist ein Mittelding zwischen einem Photon, einem virtuellen Photon und einer zeitweise in Gravitationsstrahlung umgewandelten Ruhmasse. Gravonen können nicht separat existieren und offenbar nicht wie Photonen in Einzelschritten beim COMPTON-Effekt realisiert werden. Trotzdem ist dies bei aller Einfachheit unglaublich schwer zu verstehen und deshalb noch eine Hilfestellung von EINSTEIN. "Eine wirklich gute Idee erkennt man daran, dass ihre Verwirklichung von vorne herein ausgeschlossen erscheint" [5].

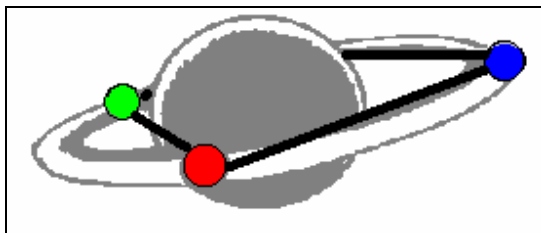
#### 15) Gravitationsmodell vom Zweierstoß?

Die Ansicht von BURIDAN und NEWTON, der Impuls sei am bewegten Objekt angeheftet, trifft in der Impulswelt wahrscheinlich nicht zu. Vielmehr dirigiert das im Stoßort verankerte Impulsvieleck das Geschehen solange, bis ein Folgeereignis eintritt. Auch verschränkte Photonen bleiben solange in Verbindung, bis eine Neuordnung der Impulse eintritt, eine Interpretation, der allerdings derzeit nicht zugestimmt wird [15]. In der Tat ist problematisch, wie man von dieser Impulswelt zur räumlichen Bewegung von Masse und Licht gelangt.



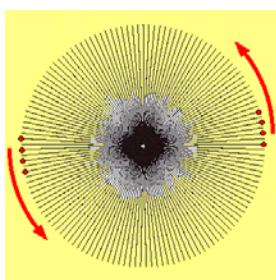
**Abb. 26:** Der von BURIDAN am Wurfpfel eingeführte und von DESCARTES präzierte Impulsbegriff leuchtet jedem ein. NEWTON lieferte mit dieser Bewegungsgröße den Entwurf der klassischen Mechanik.

Der schulgerechte Stoß ermöglicht sogar eine Aussage zur Gravitation. Träge Masse und schwere Masse sind hinfällig, wenn die Ruhmasse sich nach außen kehrt und den Umfang bzw. die Oberfläche bildet. So existiert ein Drehsinn, in der das Vieleck durchlaufen wird. Dieser führt kurzzeitig zu einer Rotation des Dreieckumfangs, und dies kommt einer (noch embryonalen) Planetenbewegung gleich.



**Abb. 27:** Vergleich von Planet und Dreieck.

Der Drehsinn verleiht dem Ganzen den Charakter einer Planetenbewegung mit einer ruhenden Ruhmasse als Zentralkörper. Der eckige Bahnumfang umgrenzt das Impulssystem. Es gibt keine träge Masse, es gibt keine schwere Masse, es gibt nur Bewegung. Die unter Punkt 9 getroffenen Aussagen zur Senkrechtstellung der kinetischen Energie quasi als Drehimpuls erhärten das Gravitationsmodell. Nimmt man alle kinetischen Energien aus dem System heraus, dann landet man bei noch ungeklärten Gebilden hoher Symmetrie im Impulsraum. Dem unscheinbaren Drehsinn entspricht ein Algorithmus über sprunghafte

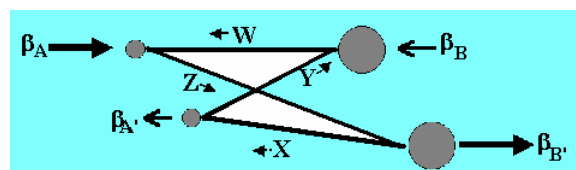


**Abb. 28:** Ein Punkt simuliert einen Doppelstern.

Verrückungen, wobei pro Takt gleiche Flächen überstrichen werden. Es kann auf Abb. 28 verwiesen werden, wo die Umkreisung eines Doppelsterns aus einem Punkt heraus mit dem gleichen Algorithmus ausgeführt wurde.

**16) Andere comptongemäße Vielecke**

Viele Fälle von relativistischen schiefen elastischen Stößen, die mittels der Prozedur der COMPTON-Bausteine berechnet werden, sind in der Literatur nicht beschrieben. Die meisten Vielecke sind zudem nicht schulgerecht, da die zwölf Kriterien, Punkt 1-12, nicht oder unvollständig erfüllt werden. Die Herstellung solcher Vielecke sei an Abb. 2 erläutert. Der Austausch der Photonen erfolgt längs des Pfades W, X, Y, Z. Es handelt sich also um ein konvexes Viereck, wie auch in Abb. 11, 29 zu ersehen. Die vier Teilchenimpulse müssen plausibel dem Stoß zugeordnet werden. Sie erfordern entweder einen regulären Comptoneffekt, wenn ein Teilchen starten soll oder einen inversen Comptoneffekt im Falle der Ankunft eines Teilchens.



**Abb. 29:** Zweiteilchenstoß als konvexes Viereck.

Die sich einstellenden Ruhmassen, Winkel und Geschwindigkeiten sind sekundäre Größen. Die kinetische Energie folgt gemäß Punkt 5 stets aus der Seitendifferenz. Es gibt einen Erhaltungssatz für Vielecksdifferenzen und es gibt einen Erhaltungssatz für kinetische Energien. Beide Sätze werden hier gleichbehandelt. Die physikalischen Zustände Vorher und Nachher müssen in das Vieleck hineininterpretiert werden. Wendet man sich noch einmal dem Dreieck im einfachen Fall von Abb. 16 und 12 zu, dann ergeben sich mit den Seitenlängen 3, 4, 5 die Seitendifferenzen 2, 1, 1. Was geschieht, wenn die Seiten bei konstant gehaltenen Differenzen verlängert werden? Durch einen Zusatz von beispielsweise 100 Einheiten erhält man die Seitenlängen 103, 104, 105 eines nicht mehr rechtwinkligen, sondern eines mehr gleichseitigen Dreiecks. Die Prozedur gemäß Compton liefert als ruhende Ruhmasse  $m_B=8112$  Einheiten. Die stoßende Masse  $m_S$  und reflektierte Masse  $m_R$  müssten zwar gleich sein, unterscheiden sich aber um 624 Einheiten. Das ist keine Überraschung, denn comptongemäße Vielecke weisen oft für jede Ecke andere Ruhmassen auf. Die besagten Massen  $m_S$  und  $m_R$  sind außerdem etwa doppelt so groß wie  $m_B$ . Die  $\beta$ -Werte der besagten Massen sind klein und etwa halb so groß wie  $\beta_B=0,0222$ . Erhöht man den Zusatz von 100 um einige Größenordnungen, dann gelangt man angenähert zum gleichseitigen Dreieck und zu einem Massenverhältnis von 2/1. Der physikalische Hintergrund dieses Grenzfalles entspricht einem rein mechanischen Stoß der doppelt so großen Masse auf die ruhende Masse  $m_B$  mit einem Ablenkungswinkel von  $120^\circ$ . Die Geschwindigkeiten sind sehr niedrig und verhalten sich umgekehrt proportional wie die Massen.

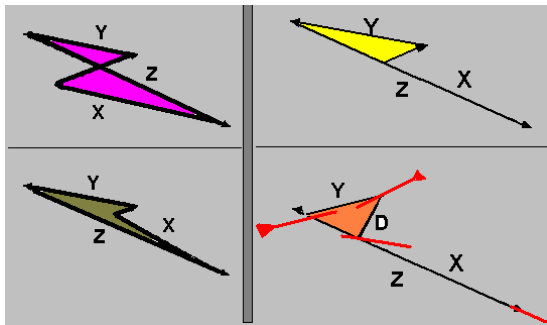


Abb. 30: Einiges zum Teil bizarre Vierecke.

Die Zweierstöße in Form von diversen Vierecken sind ein weites Feld, das hier nur gestreift werden kann. Ein Aspekt soll jedoch noch erwähnt werden, nämlich der Übergang zum geraden Stoß. In Abb. 32 wird ein Dreieck flachgedrückt zu einer Geraden, auf der der Stoß stattfindet. In Abb. 31 rechts wird dies in einer Wellenlängendarstellung am Viereck gezeigt. Bisherige Indizes ändern sich dahingehend, dass aus dem größten Impuls Z die kleinste Wellenlänge  $\lambda_z$  und aus dem kleinsten Impuls W entsprechend die größte Wellenlänge  $\lambda_w$  entsteht, siehe auch [16] und [17].

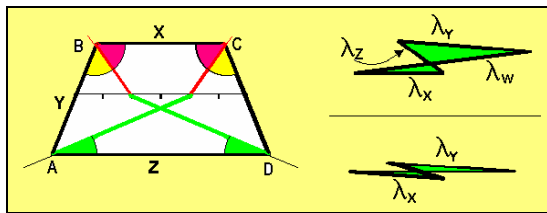


Abb. 31: Zweierstoß mit vier Impulsen. Bild links zeigt ein gleichschenkliges Trapez. Im Bild rechts ist der Übergang zum geraden Stoß skizziert.

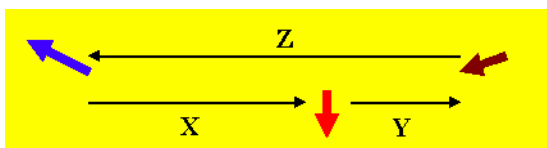


Abb. 32: Flaches Dreieck als gerader Stoß.

**Nachbemerkungen**

Die Spezielle Relativitätstheorie SRT besaß stets Berührungspunkte zur Geometrie, wie besonders herausgestellt wurde von LIEBSCHER [19]. Die vorliegende geometrische Deutung zeigt jedoch neue Merkmale der Masse in der SRT, so z.B. die Interpretation der Geschwindigkeit als eine Abkürzung  $v$  eines Umweges  $c$  nach Abb. 15. Auch die gravitative Wirkung von Abb. 27 ist zu nennen. Vorteilhaft ist der schulgerechte Charakter, der begründet wird durch Verzicht auf Begriffe wie Vektor, Infinitesimalrechnung, Streuung, FRS [16], Aufenthaltswahrscheinlichkeit, Unschärferelation, QT, physikalische Konstanten und krumme Zahlen.

Diesen Vorteilen steht eine Reihe von drastischen Einschränkungen entgegen. Die genannten Nebenbedingungen lauten stichwortartig: schlagartige Bewegungsänderung von fast Lichtgeschwindigkeit auf Null, harte Landung bei voller Elastizität, elektrisch bzw. magnetisch neutrale Teilchen, Punktmassenkollision ohne Streuung, stoßendes Teilchen leichter als das Target, nur Aussagen über die Impulswelt. Auffällig ist, dass nur bestimmte Werte-Konstellationen relevant sind. Die scharfe geometrische Natur der behandelten Stöße deutet auf eine quantenmechanische Dimension hin.

**Literatur**

- [1] W. Greiner, J. Rafelski: Theoretische Physik, Verlag Harri Deutsch, Bd. 3A S.148
- [2] Eckhard Rebhan: Theoretische Physik, Bd. 1, Spektrum, Akad. V. Heidelberg; Berlin 1999 S.848
- [3] W. E. Gettys: Physics: classical and modern, Photo Researchers/ Bernice Abbott
- [4] G. Pospiech: „Energie und Impuls – Mechanik in Klasse 11“ DD2.2 pospiech@em.uni-frankfurt.de
- [5] Alice Calaprice: Einstein sagt, Zitate - Einfälle - Gedanken, Verlag Piper, München 1999
- [6] E. R. Greulich: „Hinter vorgehaltener Hand“ Verlag Neues Leben, Berlin, Seite 156
- [7] E. Schmutzer: Einführung in die Theoretische Physik, Bd.1, BI-Wissenschaftsverlag, S. 1126
- [8] DPG Didaktik 2003: CD\_DPG2003\Denkanstoesse\KunzDD23\_10\Augsbg\_DD13\_10.pdf ISBN 3-936427-71-2
- [9] C. Kimberling, "Major centers of triangles" Amer. Math. Monthly 104 (1997) 431-438,
- [10] siehe [8] Formeln 13, 14, und 16
- [11] Manfred Kunz: Patent eingereicht: 02.09.2003 Veröffentlichungsdatum 03.03.2005 Anmelder: M. Kunz e. Kfm. www.kunz-consult.com
- [12] B. Grebe, raum&zeit 67 (1994) 24
- [13] F. Wissmann, M. Schumacher u.a.: "Quasi-free Compton Scattering and the Polarizabilities of the Neutron" Eur. Phys. Journ. A 16 (2003) 259
- [14] Udo Hartje „Teilchen, die aus Licht bestehen“ Technisch-Wissenschaftliches Büro Berlin 2003 ISBN: 3-9806131-4-3
- [15] D. Bouwmeester, A. Zeilinger u.a.: „Experimental Quantum Teleportation“, Nature 390, 575 (1997).
- [16] Bianca Grebe: „Der gerade Stoß - Traumjob Einstein“ Kunz Consult e. Kfm. Leipzig 2001, ISBN 3-00-008889-X Bd. 1
- [17] E. F. Taylor, J. A. Wheeler: Physik der Raumzeit, Verlag Spektrum 1994
- [18] M. Kunz, B. Grebe, S. Spaarmann: Sonderdruck anlässlich der 66. DPG-Physikertagung 18.3. - 22.3.2002 in Leipzig
- [19] Dierck E. Liebscher: Relativitätstheorie mit Lineal und Zirkel, Harri Deutsch, Ffm. 1991