

F. Die Hochgeschwindigkeitsphysik.

bensdauer besitzen als die gemächlicheren "Zwillinge" in den Atomlabors. Sofort sahen Relativitätstheoretiker die "*Gültigkeit des Uhrenparadoxons*" bestätigt.

Die Propaganda unterschlug jedoch die relativistisch zwingende Überlegung, daß von der Warte des kosmischen Teilchens aus das Labormyon die längere Lebensdauer besitzen müßte.

Beides zusammen geht nicht. Petzoldts Paradoxon zeigt, daß die Relativitätstheoretiker in einem mathematischen Phantomland reisen.

F. Die Hochgeschwindigkeitsphysik.

Der Hammer ist
... die wohl älteste technische Errungenschaft der Menschheit. Das aus Stiel und Kloben montierte Schlaginstrument nützte seit jeher als Werkzeug genauso gut wie als Waffe.

Wer sich zum Beispiel das Gemälde *Der Mann mit dem Goldhelm* aus der Meisterschule *Rembrandts* an die Wand hängen mag, kommt um den Gebrauch eines Hammers mit einem Kloben aus angelassenem Hartstahl nicht herum. Das zum Eintreiben des Bilderhakens geeignete Werkzeug wird man mittels der Einprägung auf dem Hammerkloben aussuchen.

Massive Körper sind träge und schwer.

Man wählt zum Beispiel einen 200g-Hammer oder einen 500g-Hammer. Der angegebene Zahlenwert spiegelt gleich zwei physikalisch wesentliche Gesichtspunkte wider.

F. Die Hochgeschwindigkeitsphysik.

Erstens geht es um einen Unterschied in der Handhabung. Schwingt man den 500g-Hammer, ist dieser viel mühsamer zu beschleunigen und abzubremesen. Unter Anstrengung wird der Hammer auf die notwendige Geschwindigkeit beschleunigt. Einmal in Gang gesetzt, behält er die Bewegung bei.

Erst eine Gegenkraft, wie sie ein auf die Wand gesetzter Nagel erbringen mag, hält die Bewegung des Hammers auf. Die Bremsung erfolgt unter kraftvoller Stauchung und Verschiebung des Materials. Der Physiker spricht von der *Trägheit*. Sie macht die Schlagwirkung des Hammers aus. Letztlich treibt die Trägheit den Nagel in die Wand.

Zweitens wird der Bastler schon vor dem Schwingen des Hammers feststellen, daß das 500g-Werkzeug schwerer in der Hand liegt. Diese Wahrnehmung ist unabhängig von jeder Bewegung. Sie verweist auf eine zweite Eigenschaft, welche mit den Angaben 200g und 500g ausgedrückt wird: die *Schwere*.

Es handelt sich in Wahrheit um das Auftreten gegenseitiger Attraktion. Im Beispiel wirkt sie zwischen Hammer und Erdkugel. Sie kann als Kraft angegeben werden. Wenn der Hammer entgleitet, scheint eine unsichtbar gespannte Gummischnur kräftig daran zu ziehen. Er bewegt sich aus der Bastlerhand mit steigendem Tempo lotrecht zu Boden. Dabei wird die größere Trägheit des 500g-Hammers, welche Beschleunigen so schwierig macht, durch die größere Attraktion - im Beispiel: eine kräftigere Gummischnur - exakt ausgeglichen. Obwohl der 200g-Hammer weniger träge und deshalb leichter zu beschleunigen ist, könnte er den 500g-Hammer beim gleichzeitigen Herabfallen nicht überholen.

Attraktion und Trägheit stellen sich als zwei Seiten ein- und

F. Die Hochgeschwindigkeitsphysik.

derselben Münze heraus. Die Physiker denken sich beide im Begriff der Masse vereinigt. Lediglich zur Präzisierung der jeweils gewählten Betrachtungsweise sprechen sie bisweilen von *schwerer* und *träger Masse*.

Eine Falschmünze zum Beispiel verrät sich der prüfenden Hand meist noch nicht durch die Abweichung der schweren Masse. Jedoch bei spielerischem Auf- und Abbewegen des Geldstücks kommt seine träge Masse hinzu. Nun zeigt das Handgefühl einen deutlich wahrnehmbaren Unterschied zur echten Münze an.

Ruhende und bewegte Körper.

In den meisten physikalischen Rechenformeln sind die Zahlenwerte, die für eine bestimmte Masse m eingesetzt werden sollen, mit dem Zusatz Kilogramm (kg) gekennzeichnet, oder wie beim Hammerkloben mit Gramm (g, gr). Die Einheit Kilogramm ist neben dem Meter und der Sekunde einer der Grundbausteine des sogenannten *mks-Systems* für physikalische Einheiten.

Wer sich bei der Arbeit mit physikalischen und technischen Anwendungsformeln daran hält, erspart sich aufwendigere Umrechnungen.

Wie jede Einheit bedarf das Kilogramm einer Festlegung. Man kann sich auf die Festlegung wie auf einen grundlegenden Gesetzestext berufen. Die Eichbehörden wachen darüber, daß wirklich immer das Gleiche gemeint ist, wenn von Kilogramm geredet wird. Oberste Eichbehörde ist die *Physikalisch-Technische Reichsanstalt* früher in Berlin, jetzt als *Bundesanstalt* in Braunschweig.

Die Festlegung der Einheit Kilogramm berücksichtigt die Trägheits- und Schwereeeigenschaft der Masse. Wie bei jeder

F. Die Hochgeschwindigkeitsphysik.

Einheitendefinition wurde auch beim Kilogramm ein Vergleich zugrundegelegt: Diejenige Menge Wasser, die bei Normaldruck und bei der Absoluttemperatur von 277,15 Kelvin einen Raum von 1 Liter (oder 1 Kubikdezimeter) einnimmt, entspricht nach Schwere und Trägheit dem, was mit der Angabe 1 Kilogramm ausgedrückt sein soll.

Bei 277,15 Kelvin (oder 4° Celsius) paßt die größte Anzahl Wassermoleküle in die betrachtete Raumeinheit.

Die Festlegungen des mks-Systems gehen auf die Zeit der *Französischen Revolution* zurück.

Mit anderen Ideen zu rationaler Begründung und Vereinfachung des Alltags waren die Revolutionäre von 1789 kläglich gescheitert. Die Zehn-Tage-Woche konnte sich nicht durchsetzen. Zwar entspricht ihr die Zahl der Finger beider Hände, was für das Abzählen und Rechnen ein Vorteil ist. Doch fehlt der dezimalen Woche nicht nur die psychologisch wichtige Überschaubarkeit der Zahl Sieben, sondern vor allem die Anbindung an grundlegende astronomische Abläufe.

Aber auch die später bewährten Vereinfachungen würden von der Wissenschaft nach über hundert Jahren wieder in Frage gestellt werden.

Ist Geschwindigkeit in Kilogramm zu messen?

Wie um 1900 auf einmal behauptet wurde, seien die Längsmaße bewegter Körper von der Geschwindigkeit abhängig.

Die Längenkontraktion eines bewegten Körpers berechne sich nach der Lorentz-Formel, die $l^* = l \cdot \sqrt{1-(v/c)^2}$ lautet. Davon muß jede Einheitenfestlegung betroffen sein, bei der Raummaße eine Rolle spielen. Dies ist beim Kilogramm

F. Die Hochgeschwindigkeitsphysik.

der Fall. Seine Definition bezieht sich auf einen wassergefüllten Raumwürfel der Kantenlänge 1 dm. Würde der Würfel als Bewegungsobjekt mit 260.000 Kilometer pro Sekunde dahinrasen, würde er nach der Formel zu einem Quader von nur 0,5 dm Länge gestaucht.

Die enthaltene Wassermenge wäre auf 0,5 Kubikdezimeter Rauminhalt verdichtet.

Der Rauminhalt von 1 Kubikdezimeter, wie ihn die Kilogramm-Definition vorsieht, müßte demnach eine bewegte Wassermenge enthalten, die 2 Kilogramm entspricht!

Nach der neuen Auffassung erscheint also jeweils ein definitionsgemäßes Kilogramm *Masse in Bewegung* gegenüber einem Kilogramm *Masse in Ruhe* üppiger. Bei der betrachteten Geschwindigkeit führt die Definition zur Verdoppelung.

Die Zunahme erfolgt in dem Maße, wie die Länge durch Kontraktion abnimmt. Ganz allgemein hat nach dieser definitorischen Begründung eine Anzahl m ruhender Kilogramm im Falle des Bewegens stets die Bedeutung einer Anzahl m^* Kilogramm, zu berechnen nach der Formel $m^* = m/\sqrt{1-(v/c)^2}$. Das Formelzeichen m vertritt grundsätzlich die schwere Masse, da nur sie im Ruhezustand feststellbar ist. Die Gleichsetzung mit der trägen Masse ist in diesem Fall eigentlich nicht zwingend.

Die Formel für die Massenveränderlichkeit kann zu den bekannten Lorentz-Transformationen gezählt werden. Ihre mathematische Struktur paßt.

Anscheinend wurde wirklich eine neues physikalisches System geschaffen. Die jetzt verfügbaren Formeln gehen über

F. Die Hochgeschwindigkeitsphysik.

eine Raum-Zeit-Theorie hinaus. Mit Meter, Sekunde und nun auch Kilogramm erfaßt es die wichtigsten Grundgrößen in neuer Weise. In der Physik markieren sie die sogenannte *Dynamik*, die Lehre von den bewegten Energieträgern.

Die Elektronen verbinden Mechanik und Elektrik.

Von der Macht der dynamischen Formeln ist ebenso die vorschnellende Bogensehne eines Sportschützen wie die zerstörerische Druckwelle eines explodierenden Pulverfasses, eine fröhliche Skiabfahrt oder das klackernde Relais eines Elektromotors erfaßt. Die gesamte Mechanik und teilweise die Elektrizitätslehre baut darauf auf.

Mechanik und Elektrizitätslehre gehen bei den bewegten Ladungen der Elektronentheorie ineinander über. Die besondere Mechanik der elektrisch geladenen Teilchen, die sogenannte Elektrodynamik, mußte also die neuentworfenen Formeln für die Grundgrößen berücksichtigen und wäre grundlegend zu revidieren.

Wie darauf zugeschnitten, hatte der Mathematiker Professor *Ferdinand Lindemann* kurz vor Veröffentlichung der Relativitätstheorie verlauten lassen:

"Die eigenen Schöpfungen des menschlichen Verstandes geben das Erfahrungsmaterial, auf dem sich weitere Forschungen aufbauen. Manche Wahrheit, die für alle Zeiten sicher begründet schien, wird heute in ihrer Gültigkeit beschränkt oder auf neue Weise erschlossen."

Lindemann hatte diese Auffassung im Vorwort des 1904 erschienen Buches *Poincaré: Wissenschaft und Hypothese* vertreten.

F. Die Hochgeschwindigkeitsphysik.

Man könnte angesichts aller Umstände die Entwicklung des relativistischen Formelwerks für einen ideenreichen Schabernack halten. Doch immerhin, die Massenformel scheint einen Ansatz für die praktische Überprüfbarkeit der neuen *Elektrodynamik bewegter Körper* zu bieten.

Die Masseformel der Lorentz-Einsteinschen Theorie.

Die Formel der bewegungsabhängigen Masse hatte schon Lorentz entdeckt. Er versuchte noch, sie aus den bestehenden physikalischen Thesen zu entwickeln. Lorentz argumentierte nicht mit willkürlichen Definitionen, sondern mit seiner Elektronentheorie.

Den Bewegungseinfluß auf die Masse erklärte er mit der Magnetfeldumschließung der bewegten Elektronen. Der Aufbau des Magnetfelds im Äther würde auf die Elektronen hemmend zurückwirken, dagegen sein Abbau drängend.

Entsprechende Vorgänge kann man im Alltag erleben. Wassersportler wissen um den Kraftbedarf beim Anfahren eines Bootes. Bei abgestelltem Antrieb zeigt sich dann, daß auch leichte Bootskörper von den selbst erzeugten ("induzierten") Wasserwirbeln ein überraschend großes Stück weitergetrieben werden.

In physikalisch ähnlicher Weise geben schwungradgetriebene Spielzeugautos den Anschein einer übergroßen trägen Masse. Sie rollen weiter, als ihrer schweren Masse nach zu vermuten wäre.

Die Scheinbarkeit der Masse von bewegten Ladungen wäre gegebenenfalls belegbar. Lorentz' Theorie verlangt, daß die scheinbare träge Masse des bewegten Elektrons transversal, das heißt gegenüber seitlichen Beeinträchtigungen, anders

F. Die Hochgeschwindigkeitsphysik.

sein muß als längs der Bewegungsrichtung.

Es wäre dem Anschein nach also eine Quermasse und eine Längsmasse des Elektrons zu unterscheiden. Lorentz sah die genannte Formel lediglich für die transversal-träge Masse vor. Für eine stets größere longitudinal-träge Masse hatte er eine besondere Formel beige-steuert.

Tatsächlich tauchen beide Formeln im Jahre 1905 auch in der Relativitätstheorie auf. Hier ist im Unterschied zu Lorentz' ätherphysikalischer Auffassung der Massezuwachs eines betrachteten Teilchens mathematisch aus den Postulaten heraus begründet.

Die Postulate machen allerdings zwischen geladenen und ungeladenen Körpern keinen Unterschied.

"Wir bemerken, daß diese Resultate über die Masse auch für die wägbaren materiellen Punkte gilt (!); denn ein Punkt kann durch Zufügen einer beliebig kleinen elektrischen Ladung zu einem Elektron gemacht werden",

war das eigenartige Argument. Deshalb spielt der für Lorentz wichtige Magnetfeld-Effekt bewegter Ladungen bei dieser Formelentwicklung gar keine Rolle.

Aufgabenbeispiele in den Lehrbüchern zeigen die seltsame Auswirkung. Es bleibt unberücksichtigt, ob die Formeln auf ein positiv oder negativ oder nicht geladenes Teilchen angewandt werden. Ohne Unterschied wird allen bewegten Körpern der jeweilige relativistische Massezuwachs nach demselben Formelsatz zugeschlagen. Nur dann stimmt die Lorentzsche mit der relativistischen Theorie mathematisch überein.

In den Physikbüchern vor dem Ersten Weltkrieg ist tatsäch-

F. Die Hochgeschwindigkeitsphysik.

lich stets von der *Lorentz-Einsteinschen Theorie* die Rede. Der frühe Anteil Woldemar Voigts in Königsberg blieb dabei abermals unbeachtet. Als inzwischen etablierter Physiker nahm er es gelassen hin, wie vereinzelte Bemerkungen Voigts zeigen. Vielleicht hatte Voigt die Unausgereiftheiten bereits erkannt, und er drängte gar nicht danach, mit dieser Lehre näher in Verbindung gebracht zu werden. Vielleicht gab es auch andere Gründe.

Erst spätere Darstellungen der Relativitätstheorie setzen einen Unterschied zu den Formeln der anfänglichen "*Lorentz-Einsteinschen Theorie*". Der besondere Ausdruck für die longitudinal-träge Masse entfiel. Seit den Zwanziger Jahren verschwand sie aus den Lehrbüchern. Der mathematische Physiker Sommerfeld aus der Meisterschule Ferdinand Lindemanns hatte die besondere Formel für die longitudinal-träge Masse mit einem Rechentrick tilgen können.

Die Hochgeschwindigkeitselektronen.

Das erste Schulbuch, das auf die neuen Probleme einging, ist der Katechismus der Physik aus dem Jahre 1903. Es ist von dem fortschrittlich denkenden Chemnitzer Gewerbelehrer Professor *Julius Kollert* verfaßt worden. Früher war er Mitarbeiter des noch heute bekannten Thermosflaschenfinders *Weinhold*.

Zur Elektrodynamik der bewegten Elektronen schrieb Kollert:

"Bei großen, der Lichtgeschwindigkeit nahe kommenden oder sie gar übertreffenden Geschwindigkeiten ist ein beträchtlicher Teil von Energie im magnetischen Felde aufgespeichert, welches das Kathodenstrahlenbündel umgibt, so daß die Bewegungsenergie also tatsächlich einen kleine-

F. Die Hochgeschwindigkeitsphysik.

ren Betrag hat als die aufgewendete Beschleunigungsarbeit."

Die Beschleunigungsarbeit wird in den Kathodenstrahlröhren über eine angelegte zigtausend Volt hohe elektrische Spannung eingebracht. Sie zerzt an jedem Elektron wie ein kräftiges Gummiseil und bringt es in der Röhre nach kürzester Strecke auf Tempo. Mit *30 Kilovolt Spannung* sind rund *100.000 Kilometer pro Sekunde* zu erreichen.

Dieses Prinzip wurde bei den Riesensynchrotrons und Elementarteilchenbeschleunigern unserer Zeit beibehalten. Sie arbeiten mit Spannungen bis in den Gigavolt-Bereich.

Die Natur selbst kann es jedoch seit jeher noch besser. Elektronen höherer und höchster Geschwindigkeiten kommen als *Betastrahlen* beim radioaktiven Zerfall vor.

Professor Kollert zufolge können die Teilchen sogar überlichtschnell sein. Es gab 1903 weder durchgearbeitete Theorien noch anerkannte Versuche, die widersprochen hätten.

Der Äther sollte eine Geschwindigkeitsgrenze nur im Sinne einer "Schallmauer" setzen, die mit erhöhtem Energieaufwand zu durchbrechen wäre.

Überlichtschnelle Elektronen würden ein kegelförmiges Magnetfeld im Äther nachziehen. Der Nachweis des *Czerenkow-Effekts* gelang jedoch erst nach einem halben Jahrhundert.

Heutzutage ist er im durchstrahlten Moderatorwasser der Kernkraftwerke als bläulich schimmerndes Leuchten wahrnehmbar.