

## Werk

**Titel:** Zum Relativitätsprinzip : Entgegnung auf Herrn Gehrckes Artikel " Die gegen die R...

**Autor:** Born, M.

**Ort:** Berlin

**Jahr:** 1913

**PURL:** [https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?34557155X\\_0001](https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?34557155X_0001) | log70

## Kontakt/Contact

Digizeitschriften e.V.  
SUB Göttingen  
Platz der Göttinger Sieben 1  
37073 Göttingen

✉ [info@digizeitschriften.de](mailto:info@digizeitschriften.de)

rückgängig gemacht werden und daß die hier geleistete mechanische Arbeit die am Muskel beobachteten Werte leicht übertreffen kann. So waren schon z. Zt. *Engelmanns* alle Grundlagen für eine chemische Quellungstheorie der Muskelkontraktion gegeben; allein *Engelmann* entschied sich, beeinflußt von den herrschenden Anschauungen über den Muskelstoffwechsel für eine Quellung, beeinflußt von der auftretenden Wärme (thermische Quellung) als Grundlage der Muskelkontraktion. Die dazu nötige Wärme sollten im Muskel die Verbrennungsprozesse liefern. Doch hat diese sogenannte *thermodynamische Muskelmaschine Engelmanns* den Angriffen zahlreicher Forscher nicht Widerstand leisten können. *Wolfgang Pauli* hat sich nun endgültig für einen Quellungsprozeß bei der Muskelkontraktion entschieden, der jedoch ganz anders verläuft, als sich dies *Engelmann* vorgestellt hat. *Pauli* wies nach, daß bei der Muskelkontraktion an der Grenze zwischen Fibrille und Sarkoplasma Milchsäure auftritt, welche die Fibrille zur Quellung und damit zusammenhängend zur Verkürzung bringt. Dabei konnte *Pauli* zum ersten Male zeigen, daß die unendlich kurze Dauer einer einfachen Muskelzuckung mit dem zeitlichen Quellungsverlauf der Muskelfibrille, ihrer winzigen Dimensionen wegen, erklärt werden kann. Daß bei der Muskelkontraktion Quellungsprozesse eine Rolle spielen, haben in neuerer Zeit verschiedene Autoren, wie *von Frey, Biedermann, E. Przibram, M. H. Fischer*, behauptet. Keiner der Autoren hat sich aber präzise Vorstellungen über das Zustandekommen der Erschlaffung des Muskels gemacht, welche doch einen wichtigen Teil der Muskeltätigkeit bildet, und nicht einmal einen Versuch einer Orientierung über die Veränderungen beim Muskel aus der Zusammenziehung (Kontraktion) in die Ruhelage ausgeführt. Dieses Problem muß chemisch betrachtet werden. *Pauli* konnte nun zeigen, daß ein durch Säure maximal gequollenes Eiweiß durch Beseitigung dieser Säure zur Entquellung gebracht werden kann. Bei der Kontraktion wird durch Spaltungsprozesse der Muskelstoffe Milchsäure gebildet. Da früher davon gesprochen wurde, daß eine Säure die Quellung eines Gelatinewürfels oder eines andern Eiweißstoffes (Fleisch) sehr beeinflußt, so ist es leicht vorstellbar, daß bei der Kontraktion die Milchsäure die Fibrillen zur Quellung bringt und dabei eine Verkürzung des Gesamtmuskels bewerkstelligt. Ebenso wie alle giftigen Substanzen, die im Organismus auftreten, verbrannt werden, so ist es leicht erklärlich, daß durch die Verbrennung der Milchsäure der Grund zur Quellung beseitigt wird. Dadurch wird die Quellung rückgängig gemacht, der normale Zustand des Muskels wiederhergestellt, was einer Erschlaffung des Muskels entspricht.

Zwischen Muskelkontraktion und Totenstarre besteht also ein wichtiger Zusammenhang. Die Muskelkontraktion wird dadurch hervorgerufen, daß an der Grenze zwischen Fibrille und Sarkoplasma Milchsäure auftritt, die eine Quellung der Fibrille auf Kosten der Sarkoplasmaflüssigkeit und dadurch eine Verkürzung des Muskels, eine Kontraktion bewerkstelligt. Durch Verbrennung der Milchsäure

entquillt die gequollene Fibrille, was der Erschlaffung des Muskels entspricht. Bei Eintritt des Todes erfolgt ebenfalls eine Milchsäurebildung, die ebenfalls eine Quellung, eine Verkürzung, eine Kontraktion des Muskels zur Folge hat. Nach dem Tode kann aber die Milchsäure nicht mehr fortgeschafft, nicht mehr verbrannt werden. Sie häuft sich an, bringt die Eiweißkörper zur Ausflockung, zur Gerinnung, was der Lösung der Totenstarre entspricht. Die Totenstarre ist die letzte vitale Muskelkontraktion, die nicht mehr rückgängig gemacht werden kann.

### Zum Relativitätsprinzip: Entgegnung auf Herrn Gehrckes Artikel „Die gegen die Relativitätstheorie erhobenen Einwände“.

Von Privatdozent Dr. M. Born, Göttingen.

Herr *Gehrcke* hat in einem Artikel des letzten Heftes dieser Zeitschrift eine Reihe von Einwänden gegen die „Relativitätstheorie“ zusammengestellt und kommt auf Grund derselben zu dem Schluß, daß „die Einsteinsche Interpretation der Lorentzschen Gleichungen un durchführbar ist“; er erklärt die „klassische Relativitätstheorie“ für einen „interessanten Fall von Massensuggestion in der Physik, besonders in den Ländern deutscher Zunge“ und er vergleicht diese Erscheinung mit der „Entdeckung“ der sogenannten N-Strahlen, die hauptsächlich in Frankreich Staub aufwirbelte. Dieser ethnologischen Betrachtung wird nicht jeder beipflichten wollen. Frankreich nennt mit Stolz Henri Poincaré seinen Sohn, der als einer der ersten die prinzipielle Wichtigkeit von Einsteins Entdeckung erfaßt und an der Weiterentwicklung der Theorie mitgearbeitet hat. Auch wäre es ein leichtes, der Reihe der deutschen Anhänger der Einsteinschen Theorie eine ebenso lange Liste von ausländischen Gelehrten an die Seite zu stellen, die, nach Herrn *Gehrckes* Ausdrucksweise, zu den „Aposteln“ dieser Lehre gehören. Auffällig wäre bei der Durchsicht einer solchen Liste vielleicht die große Zahl der Mathematiker, jener so sehr zum Zweifel neigenden Ge-sellen, deren kritische Betrachtungen mancher experimentelle Physiker als überflüssige Tüfteleien beiseite zu schieben liebt; die Relativitätstheorie hat nicht nur der mathematischen Kritik stand gehalten, sondern durch einen der ersten deutschen Mathematiker unserer Zeit, *Minkowski*, ihr eigentliches formales Gewand erhalten.

Herr *Gehrcke* aber greift die logische Zulässigkeit der Relativitätstheorie an.

Es wäre recht schwierig, Herrn *Gehrckes* Einwände in dieser jungen Zeitschrift zu begegnen, die noch nicht Gelegenheit hatte, ihre Leser mit den Behauptungen der Relativitätstheorie durch einen einführenden Artikel bekannt zu machen, wenn nicht ein Umstand mir zu Hilfe käme. Derjenige Einwand nämlich, der von Herrn *Gehrcke* selber stammt, richtet sich gar nicht speziell gegen

das Einsteinsche Relativitätsprinzip, sondern geht im Grunde ebenso sehr gegen die klassische, von Galilei und Newton begründete Mechanik, deren Kenntnis bei dem Leser vorauszusetzen mir wohl erlaubt ist.

In dieser klassischen Mechanik gilt nämlich auch ein „Relativitätsprinzip“, das sogar, auf rein mechanische Vorgänge angewandt, genau denselben Wortlaut hat, wie das Einsteinsche, und lautet: In zwei relativ zueinander gleichförmig und geradlinig bewegten Systemen gelten dieselben Newtonschen Bewegungsgesetze, d. h. ein Körper  $A$  bewegt sich relativ zu dem ersten System genau so wie ein gleichbeschaffener Körper  $B$  relativ zu dem zweiten System, wenn die übrigen wirkenden Körper der beiden Systeme relativ dieselbe Lage und Bewegung und die Körper  $A$  und  $B$  in einem Augenblick relativ zu dem betreffenden System übereinstimmende Lage und Geschwindigkeit haben. In dieser exakten Formulierung ist das Prinzip eine strenge Folgerung der Grundgleichungen der Mechanik. Herr Gehrcke zitiert das Prinzip in einer etwas nachlässigen Formulierung, die ihm Einstein einmal gelegentlich gegeben hat: Das Relativitätsprinzip ist die Voraussetzung der Unabhängigkeit der Naturgesetze vom Bewegungszustande des Bezugssystems. Herr Gehrcke äußert zunächst seine Zweifel darüber, ob hier von den verschiedenen Autoren stets nur die geradlinig-gleichförmigen Bewegungen gemeint seien; ich selbst habe zwar oft Ungenauigkeiten des Ausdrückes gefunden, sachlich aber niemals den geringsten Zweifel entdecken können, daß die Geradlinigkeit und Gleichförmigkeit der relativen Bewegung zweier Bezugssysteme die erste Voraussetzung für ihre physikalische Gleichwertigkeit ist. Eine solche unklare Stelle ist der von Herrn Gehrcke zitierte Anfang von § 17 aus Einsteins Arbeit im Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik (4, 1907, S. 411); dort wirft Einstein allerdings die Frage auf, „ist es denkbar, daß das Prinzip der Relativität auch für Systeme gilt, welche relativ zueinander beschleunigt sind?“, aber tatsächlich behandelt er im folgenden ein ganz anderes Problem, nämlich die Äquivalenz eines Systems, das ein konstantes Gravitationsfeld enthält, mit einem gleichförmig beschleunigten Systeme. Wenn ferner Herr Planck\*) sagt, daß gewisse Relationen, wie z. B. die Abhängigkeit der Masse von der Geschwindigkeit usw., auch für ungleichförmige Bewegungen gelten, so ist das eine richtige Aussage, die mit der Frage nach der Gültigkeit des Relativitätsprinzips für ungleichförmige Bewegungen wenig zu tun hat; Herr Planck hat letztere Frage nie bejaht. Wie das Relativitätsprinzip alle physikalischen Vorgänge umfassen soll, so muß es auch die „rotatorischen Bewegungsvorgänge“ umfassen; das Problem, wie die Gesetze der Mechanik, speziell die der Rotationsbewegungen, zu formulieren sind, daß sie die geforderte Unabhängigkeit von gleichförmigen Bewegungen des Bezugssystems besitzen, ist gründlich untersucht worden — leider ver-

wechselt Herr Gehrcke diese Fragestellung in einigen ihm zur Kenntnis gekommenen Arbeiten über diesen Gegenstand mit der hier vorliegenden Frage nach der Gleichwertigkeit relativ beschleunigter Systeme.

Um nun auf Herrn Gehrkes Einwand zu kommen, so nimmt er an, daß das Relativitätsprinzip auf „genau gleichförmige Translationen“ beschränkt sei, und schließt, daß diese „Beschränkung gleichbedeutend mit Vernichtung der Theorie“ sei, weil dann ein irdischer Physiker mit irdischen Experimenten wegen der rotatorischen Bewegung der Erde das Prinzip niemals genau bestätigen könnte. Meines Wissens gibt es kein physikalisches Gesetz, daß irgend ein Experimentator mit absoluter Genauigkeit bestätigen könnte. Man pflegt sich damit zu begnügen, störende Wirkungen, die man niemals ausschließen kann, nach Möglichkeit in Rechnung zu setzen. Im Falle der bewegten Erde ist das besonders einfach, weil die Beschleunigung der Erdoberfläche so klein ist, daß die davon herrührenden Abweichungen in den Formeln der Relativitätstheorie zur Darstellung optischer und elektromagnetischer Vorgänge der Messung ganz unzugänglich sind. Ich vermag nicht einzusehen, warum eine experimentelle Bestätigung des Relativitätsprinzips von anderen Gesichtspunkten zu beurteilen ist, als die irgend eines anderen physikalischen Gesetzes. Ähnliches ist zu sagen über eine Bemerkung, die Herr Gehrcke seinen „Einwänden“ voranstellt; er meint, daß der Michelsonsche Versuch nicht zur Bestätigung der Relativitätstheorie herangezogen werden könne, „da sein Ergebnis, die Unabhängigkeit der optischen Erscheinungen von der absoluten Bewegung, nicht als Folgerung, sondern als Voraussetzung der Relativitätstheorie angesehen werden muß“. Wenn ich z. B. die Voraussetzung mache, daß zwei physikalische Größen  $a$  und  $b$  gleich seien,  $a = b$ , und daraus schließe, daß dann auch  $a^2 = b^2$  sei, so kann ich diese kleine „Theorie“ dadurch prüfen, daß ich experimentell die Richtigkeit dieser „Folgerung“  $a^2 = b^2$  nachweise; aber mir scheint, man kann sie auch dadurch prüfen, daß man die Richtigkeit der „Voraussetzung“  $a = b$  beweist, ja letzteres ist besser, weil auch aus  $a = -b$  dieselbe Folgerung  $a^2 = b^2$  zu ziehen ist. Ähnlich verhält es sich wohl auch bezüglich der Prüfung der Relativitätstheorie.

Die anderen drei Einwände betreffen die Einsteinsche Zeitdefinition, die Existenz des Äthers und die Gravitation. Über die erstgenannten Punkte ist viel gesprochen und geschrieben worden und man gibt allgemein zu, daß gewisse Folgerungen aus der Einsteinschen Zeitdefinition, z. B. das Nachgehen von bewegten Uhren gegen ruhende, höchst merkwürdig sind, daß die Abschaffung des Äthers der Vorstellungskraft mancherlei Schwierigkeiten bereitet. Es liegen eben Widersprüche gegen alt gewohnte Anschauungen vor; Herr Gehrcke wechselt diese leider mit logischen Widersprüchen der Theorie in sich. Daß die

\*) M. Planck, Ann. d. Phys. (4) 26, 13, 1908.

Theorie tatsächlich logisch widerspruchsfrei ist, läßt sich mathematisch beweisen mit Hilfe von *Minkowskis* geometrischer Darstellung in der vierdimensionalen, aus Raum und Zeit gebildeten Mannigfaltigkeit, die er „Welt“ nennt; ohne darauf näher einzugehen, kann ich hier nur sagen, daß jedem Satze der Relativitätstheorie ein gewisser geometrischer oder algebraischer Satz entspricht, derart, daß ein Widerspruch in der Relativitätstheorie einen Widerspruch innerhalb der Algebra zur Folge hätte. Ich weiß nicht, ob Herr *Gehrcke* die Existenz eines solchen annimmt. Es erübrigt sich daher, diese Punkte näher zu erörtern; denn Herr *Gehrcke* weist eben Widersprüche der Relativitätstheorie gegen gewisse der alten Theorie entnommene Vorstellungen nach, aber nicht Widersprüche der konsequent durchgeföhrten Relativitätstheorie in sich. Nur über die zweite Form des von Herrn *Gehrcke* gegen die Zeitdefinition erhobenen Einwandes sind einige Worte zu sagen, weil es sich dabei nicht nur um ein Mißverständnis, sondern um eine sachlich falsche Behauptung handelt; er behandelt dort zwei relativ gegeneinander gleichförmig bewegte Systeme  $K$  und  $K'$  und sagt, daß alle Uhren 1, 2, 3, ... des Systems  $K$  unter einander das gleiche zeigen, und daß alle Uhren 1', 2', 3', ... des Systems  $K'$  untereinander auch das gleiche zeigen, was bekanntlich nicht der Fall ist. Man kann letzteres z. B. mühelos mit Hilfe des von Professor *Cohn*<sup>\*)</sup> erdachten Modelles einsehen, das jedem zu empfehlen ist, der sich mit der Relativitätstheorie vertraut machen und ihre logische Zulässigkeit einsehen will, ohne sich in die vierdimensionalen Be trachtungen *Minkowskis* zu vertiefen.

Der vierte, die Gravitation betreffende Einwand geht auf eine noch nicht völlig geklärte Frage ein. Daß die Gravitation als Fernwirkung mit dem Relativitätsprinzip verträglich ist, ist längst von *Poincaré*, *Minkowski* und *Sommerfeld* gezeigt worden. In dem Bestreben, Nahwirkungstheorien der Gravitation aufzustellen, sind *Einstein* und *Abraham* zu Annahmen gelangt, die der Relativitätstheorie widersprechen; diese beiden Theorien entbehren aber noch jeder experimentellen Bestätigung. Wenn Herr *Abraham* daraufhin die Relativitätstheorie die „gestrig“ nennt, so zeigt das, daß er seiner Imaginationskraft die Fähigkeit zutraut, den experimentellen Kenntnissen seiner Zeit vorauszuseilen. Andere Schlüsse gegen das Relativitätsprinzip kann man aus diesen neuen Theorien schwerlich ziehen. Nach den jüngsten tief sinnigen Arbeiten *Gustav Mies*<sup>\*\*)</sup>) zur „Theorie der Materie“ scheint es nicht hoffnungslos, die Gravitation im Einklange mit dem Relativitätsprinzip als allgemeine Eigenschaft der Materie zu begreifen.

Diese Zeitschrift ist nicht der Ort, wissenschaftliche Fehden auszufechten. Gleichwohl fühlte ich mich, als die Herausgeber in freundlicher Weise

<sup>\*)</sup> *E. Cohn*, Physikalisches über Raum und Zeit, Leipzig bei Teubner, 1911.

<sup>\*\*) G. Mie, Ann. d. Phys. (4) 37, 511; 39, 1, 1912; 40, 1, 1913.</sup>

mich von Herrn *Gehrcke* „Einwänden“ in Kenntnis setzen, verpflichtet, gegen diese Publikation Einspruch zu erheben. Mir genügt es, wenn ich die Leser überzeugt habe, daß ich selbst der „Massensuggestion“ nicht willenlos unterlegen bin, sondern versucht habe, mir ein eigenes Urteil über die Frage der Relativität zu bilden. Die physikalischen, experimentellen Grundlagen der Relativitätstheorie sind vielleicht heute noch diskutabel, obwohl die neuesten und schärfsten Messungen zu ihren Gunsten sprechen; die logische Zulässigkeit der Theorie kann nicht bestritten werden.

## Zur Wiedereinführung des Klavizimbelns.

Von Dr. Curt Sachs, Berlin.

Die Zufriedenheit mit sich und der eigenen Zeit beginnt in Dingen der musikalischen Instrumente einer weitsichtigen Hochachtung vor dem Schaffen vergangener Epochen Platz zu machen. Vor nicht lange noch wurde jedes alte Klavierinstrument, das sich in Keller oder Boden fand, zu Brennholz zerschlagen, und der Name Klavizimbel, dessen Klang in ungezählten Generationen unserer Vorfahren Erinnerungen an Stunden höchster Weihe geweckt hatte, diente zum Spottnamen für jedes invalide Klavier. Inzwischen hat sich die Erkenntnis Bahn gebrochen, daß fast eine jede Verbesserung mit Opfern erkauft wird und daß wir bei unserem rastlosen Vorwärtsschreiten eine Masse kostlichen Besitzes am Wege haben liegen lassen. Gewiß sind unsere modernen Streichinstrumente vollkommener und vielseitiger als die alten; aber das eigentümliche Kühle, Dämmerige der Viola da gamba vermag kein Cello zu geben, das Glitzernd-Silbrige der Viola d'amore keine Bratsche. Die Querflöte, die seit anderthalb Jahrhunderten an der Spitze unseres Holzbläserchors steht, ist unvergleichlich ausdrucksfähiger und kräftiger als die Flûte douce; aber das Schattenhaft-Feierliche der alten Schnabelflötenchöre hat in ihrem Klang keine Nachfolge gefunden. Die Flügel unserer Zeit sind Wunderwerke der Technik; ihre Konstruktion und ihre Klangmittel sind auf einer Stufe angelangt, der gegenüber die Werke der Klavierbauerkunst vergangener Jahrhunderte wie Spielzeug anmuten. Und doch sind, als sich im 18. Jahrhundert der Kampf zwischen Klavizimbel und Hammerklavier zugunsten des letzteren entschied, Werte vernichtet worden, die in ihrer Eigenart von der Neuzeit nicht ersetzt sind.

Im Gegensatz zum Pianoforte, dessen Saiten durch den Anschlag von Hämtern in Schwingung versetzt werden, hat das Klavizimbel oder Cembalo einen Zupfmechanismus. Auf den hinteren Tastenenden stehen frei innerhalb eines „Siebs“ aufrechte Docken, aus deren Kopfende seitlich eine Reißzunge herausragt. Beim Niederdrücken der Taste geht die Docke hoch, die Zunge reißt die Saite an und gleitet an ihr, nachdem die Taste losgelassen ist, vermöge einer einfachen Auslösung sanft nieder, ohne sie nochmals in Schwingungen zu bringen. Gute Instrumente haben einen wunderbar prickelnden, rauschenden, festlichen Klang, der