Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 77/78 (1921)
Heft: 19

Artikel: Einsteinsche Relativitätstheorie
Autor: Weyl, H.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-37345

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

INHALT: Die Einsteinsche Relativitätstheorie. — Wohlfahrtshaus in Chippis der A. I. A. G. — Energieverteilung und Energiebedarf des „Chicago. Milwaukee & St. Paul Railway". — Miscellanea: Beiträge zur Berechnung kritischer Torsions-Drehzahlen. — Versuche an Wasserdestillationsanlagen mit Wärmepumpe. Ing. F. Lamarche. Osram Nitra-Lampen. — Konkurrenzen: Bebauungsplan zum Wiederaufbau von Sent. Denkmal für Rinaldo Simen in Bellinzona. Wehrmännerdenkmal im Kanton Zürich. — Vereinsnachrichten: Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. Stellenvermittlung.
Tafeln 5 bis 8: Wohlfahrtshaus in Chippis der A. I. A. G.

Band 78. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 19.

Die Einsteinsche Relativitätstheorie.

Von Prof. Dr. *H. Weyl* an der Eidg. Techn. Hochschule, Zürich.

(Schluss von Seite 218).

II.

In einem Zimmer seien einer oder mehrere elektrisch geladene Metallkörper ruhend aufgestellt. Ausserdem stehe uns ein kleines geladenes Kügelchen zur Verfügung, das wir beliebig im Raume herumführen können. Wir werden finden, dass an jedem Punkt des Raumes auf dieses Kügelchen eine Kraft wirkt; und zwar erfährt es immer die gleiche Kraft, wenn wir es an die gleiche Stelle des Zimmers zurückbringen. Mit dem gleichen Recht etwa, mit dem wir auf die Existenz eines Baumes vor dem Zimmerfenster daraus schliessen, dass wir immer wieder, wenn wir zum Fenster hinausschauen, jene Gesichtserlebnisse haben, die für uns die Wahrnehmung eines Baumes bedeuten, mit dem gleichen Recht schliessen wir aus der angeführten Tatsache auf die Existenz eines überall nach Intensität und Richtung bestimmten „elektrischen Feldes" in dem die geladenen Konduktoren umgebenden Raum. Das Kügelchen dient uns nur als ein Mittel, dies Feld wahrnehmbar (und messbar) zu machen, weil kein Sinnesorgan uns von ihm direkt Kunde gibt. Ein Feld von periodisch schwankender Intensität ist eine „elektrische Welle"; solche Wellen übermitteln die Zeichenübertragung in der drahtlosen Telegraphie, und auch das Licht besteht aus elektrischen Wellen. In unserm Auge haben wir also doch ein Sinnesorgan zur Wahrnehmung elektrischer Felder, freilich nur solcher elektrischer Felder, die ausserordentlich rasche periodische Schwankungen ausführen. Das Feld ist mit einem gewissen *Spannungszustand* verbunden; elektrisch geladene Körper wirken nicht unmittelbar aufeinander, sondern sie erzeugen ein Feld, und der in dem Felde herrschende Spannungszustand wirkt als bewegende Kraft auf die in das Feld eingebetteten Körper. Wie bei einer gespannten Feder, kommt diesem Spannungszustand eine im Raum verteilte Spannungsenergie zu. Bei allen elektritrischen Vorgängen strömt die Energie im Felde hin und her oder verwandelt sich in Bewegungsenergie der im Felde befindlichen Körper (teils in die Energie sichtbarer, teils unsichtbarer molekularer, von uns als Wärme empfundener Bewegungen) und umgekehrt, aber ihrem Gesamtbetrage nach ändert sie sich nicht (Gesetz von der Erhaltung der Energie).

Nach der hier geschilderten Vorstellung haben wir offenbar in der Welt einen Dualismus von *Materie* und *Feld;* die Materie ist nicht allein da, sondern ausser ihr existiert noch als eine zartere („lichtartige") Realität das Feld, welches sich mit der Materie in Wechselwirkung befindet: die Materie erzeugt das Feld, das Feld wirkt auf die Materie durch seine Spannung zurück als bewegende Kraft. Die alte „mechanische" Weltauffassung wollte diesen Dualismus überwinden, indem sie das Feld und seine Wirkungen auf verborgene Bewegungen eines hypothetischen Stoffes, des „Aethers" zurückzuführen suchte; so sollte z. B. eine wellenförmige Bewegung dieses Aethers, Aetherschwingungen von der gleichen Art wie die den Schall erzeugenden Luftschwingungen, dem Phänomen des Lichtes zugrunde liegen. Einen vollen Erfolg haben die Bemühungen der „Mechaniker" niemals gehabt. Seit Faraday und Maxwell haben sich die Physiker mehr und mehr dazu verstehen müssen, das Feld als eine originäre, auf die Materie nicht zurückzuführende Wirklichkeit anzuerkennen. Die Relativitätstheorie zeigte endlich die völlige Haltlosigkeit der Aetherhypothese. Wollen wir also über die Zweiheit von Materie und Feld hinaus zu einer Einheit kommen, so bleibt nur die Möglichkeit, am Substanzbegriff zu rütteln. In der Tat ist die Vorstellung einer kontinuierlich ausgebreiteten „Substanz", aus der die Elementarteile der Materie, die Atome und Elektronen, bestehen sollen und von der man annimmt, dass 1. jede einzelne Substanzstelle im Laufe der Geschichte ihre bestimmte Weltlinie durchläuft, und dass 2. in jedem Raumstück ein bestimmtes zahlenmässig angebbares Quantum Substanz (die „Masse") sich befinde, — diese Substanz-Vorstellung ist ganz überflüssig zur Erklärung der Naturerscheinungen. Wo ein Elektron sich befindet, steigt die elektrische Feldstärke auf kleinstem Raum zu enorm hohen Werten an. Die *Ladung* des Elektrons ist nach Faraday nichts anderes als der Fluss des elektrischen Feldes durch irgend eine diese singuläre Stelle umgebend gedachte Hülle. Die Bedeutung der *Masse* aber ist in der Physik keineswegs die eines „Substanzquantums", sondern sie misst den Trägheitswiderstand der Materie gegen beschleunigende Kräfte. Die Relativitätstheorie führte nun zu der Erkenntnis, dass *jede Anhäufung von Feldenergie Massenträgheit besitzt; und zwar kommt einem Energiequantum E die träge Masse E/c^2 zu,* wo c die Lichtgeschwindigkeit bedeutet. Ein Ofen, dessen Inneres von intensiver Strahlung erfüllt ist, bewegt sich, wenn wir die Masse der Ofenwände als verschwindend klein annehmen, unter dem Einfluss irgendwelcher Kräfte nach den bekannten Gesetzen der Mechanik, wobei seine träge Masse gleich der Energie der im Ofen herrschenden Strahlung, dividiert durch c^2, ist. So können wir denn auch die Massenträgheit eines Elektrons und der aus Elektronen (mit Atomkernen) zusammengesetzten Körper erklären: sie rührt her von der an der Stelle des Elektrons sich zusammenballenden Energie des elektrischen Feldes, das dort zu gewaltiger Stärke ansteigt. Ein Licht aussendender Körper erfährt einen Massenverlust, nicht dadurch, dass „Substanz", sondern dadurch, dass Energie von ihm weggeht; er ist gleich dem c^2-ten Teil der ausgestrahlten Lichtenergie. Ebenso wächst an einem Körper, der erwärmt wird, die träge Masse mit dem Energie-Inhalt. Das Gesetz von der Erhaltung der Masse fällt infolge dieser engen Beziehung zwischen Masse und Energie zusammen mit dem Gesetz von der Erhaltung der Energie. So sehen wir: alle bekannten Eigenschaften der Materie erklären sich allein daraus, dass die materiellen Korpuskeln „Energieknoten" im Felde sind. Sie bewegen sich nicht anders durch den Raum, als wie eine Wasserwelle über die Seefläche fortschreitet; es ist da nicht mehr die Rede von „ein und derselben Substanz", aus der so ein Teilchen dauernd bestünde. Uebrigens hatte schon Kant eine dynamische Auffassung der Materie vertreten, indem er lehrte, dass die Materie ihren Raum erfülle nicht durch ihr blosses Dasein, sondern durch anziehende und zurückstossende Kräfte. Wir leugnen eine „den Raum durch ihr blosses Dasein erfüllende" Materie ganz und gar; hat es nach der Relativitätstheorie keinen Sinn mehr, von dem gleichen Raumpunkt zu verschiedenen Zeiten oder von dem gleichen Zeitpunkt an verschiedenen Orten zu reden, so fällt jetzt auch die sinnvolle Möglichkeit dahin, „dieselbe Substanzstelle" wiederzuerkennen und durch ihre Geschichte hindurch zu verfolgen. Es gibt keine unveränderlichen substanziellen Korpuskeln, an denen die Feldkräfte nur von aussen anpacken, sie hin und her schiebend.

Was das Feld betrifft, so hatte ich bisher allein vom elektromagnetischen Feld gesprochen, auf dessen Rechnung ausser den elektrischen und magnetischen Vorgängen auch alle bekannten Strahlungserscheinungen, insbesondere die optischen, kommen. Daneben existiert aber noch das

Gravitationsfeld, das offenbar in ähnlicher Weise mit der Masse der Körper zusammenhängt wie das elektromagnetische Feld mit ihrer Ladung. Andere ursprüngliche Kraftwirkungen als die des elektromagnetischen und des Gravitationsfeldes kennt die moderne Physik nicht; alle übrigen Naturkräfte entspringen, soviel wir heute beurteilen können, aus ihrem Zusammenspiel. Gerade in jüngster Zeit sind wir in der elektrischen Deutung der Kohäsionskräfte der Materie durch die Untersuchungen von Herrn Prof. *Peter Debye*, der seit kurzer Zeit an unserer Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich wirkt, ein mächtiges Stück vorwärts gekommen.

III.

Nicht lange hat sich Einstein auf der Stufe der speziellen Relativitätstheorie, von der bislang die Rede war, niedergelassen. Während die Physiker und Mathematiker, zum Teil unter heftigem Sträuben, in die Umgestaltung sich einzuleben suchten, welche Raum, Zeit und die andern physikalischen Grundbegriffe durch seine geniale Lösung der in der Elektrodynamik und Optik bewegter Körper längst drückend empfundenen Schwierigkeiten erlitten hatten, drang er selber in gewaltigem Geistesringen empor zu höheren Gipfeln; nach einem kurzen Irrweg in letzter Stunde wurde das Ziel 1914 erreicht. Eine diese *„allgemeine Relativitätstheorie"* bestätigende astronomische Beobachtung war es, die vor kurzem weitere Kreise aufhorchen liess auf die unter Führung Einsteins erfolgte Revolution des physikalischen Weltbildes. Es war eine Revolution, wie man sie sich radikaler kaum denken kann, aber Hand in Hand mit der Zerstörung des Alten ging der sichere Aufbau einer neuen, mächtigeren und freieren Ordnung der Dinge.

Was Einstein nicht zur Ruhe kommen liess, war das ungelöste Dilemma, in das sich Vernunft und Erfahrung hinsichtlich der *Relativität der Bewegung* bislang verstrickt sahen. Wenn ein rasch rotierendes Schwungrad zerspringt, wenn bei einem Zugszusammenstoss infolge der plötzlichen Bewegungshemmung die Wagen sich ineinander schieben und alles in Trümmer geht, wer ist schuld an einem solchen Unglück? Hier kommt es doch offenbar nicht an auf die Relativbewegung, etwa die Bewegung des Zuges relativ zur Erde. Warum ginge sonst der Zug in Trümmer und nicht auch der Kirchturm, an dem er vorüberfährt (der doch relativ zum Zug einen ebenso starken Bewegungsruck erfährt wie der Zug relativ zum Kirchturm)! Man mache sich an solchen Beispielen klar, wie krass das Dynamische dem Prinzip von der Relativität der Bewegung widerspricht! Von unabweisbaren Tatsachen gedrängt, antwortet daher Newton auf unsere Frage: Es gibt einen absoluten Raum; jene Wirkungen treten ein, weil das Schwungrad rotiert, die Bewegung des Zuges verzögert wird *relativ* zum *absoluten Raum;* der „absolute Raum" zerbricht das Schwungrad, zertrümmert die Eisenbahnwagen. Die Antwort der speziellen Relativitätstheorie, die der innern Struktur der Welt die Schuld zuschiebt, ist nicht wesentlich von der Newtonschen verschieden. Diese innere Weltstruktur offenbart sich also in den Trägheitskräften als *etwas Reales,* als wirkende Potenz von einer unter Umständen erschütternden Gewalt. Und auf diesem Gedanken beruht nun die Lösung dieses Dilemmas, die Einstein in der „allgemeinen Relativitätstheorie" fand: bekräftigt sich die innere Weltstruktur durch solche Wirkungen auf die Materie als eine machtvoll ins Weltgeschehen eingreifende Realität, so kann sie unmöglich eine formale, schlechthin vorgegebene, von der erfüllenden Materie und ihren Zuständen unabhängige Beschaffenheit der Welt sein, sondern sie wird ihrerseits Wirkungen von der Materie erleiden, durch die Materie bestimmt werden und mit ihren Zuständen sich verändern, ähnlich wie etwa das elektrische Feld von den elektrischen Ladungen erzeugt wird und mit ihnen sich verändert.

Schon früher hatte ich davon gesprochen, dass zufolge dem Galileischen Trägheitsgesetz in der Welt eine im Unendlichkleinen wirksame Beharrungstendenz sich kundtut, welche die Weltrichtung eines Körpers von Moment zu Moment überträgt und dadurch seine Bewegung bestimmt. Nach alter Auffassung entspringt diese Beharrungstendenz aus der geometrischen Struktur der Welt. Einstein erblickt in ihr ein physikalisches Zustandsfeld von der gleichen Realität wie etwa das elektromagnetische Feld; ich will es das *Führungsfeld* nennen. Die tatsächliche Bewegung eines Körpers kommt also im allgemeinen durch den Kampf zweier Einwirkungen zustande, des Führungsfeldes, das die Weltrichtung des Körpers von Moment zu Moment überträgt, und der „Kraft", die den Körper aus dieser natürlichen Bewegung ablenkt. Die am Beispiel des Zugszusammenstosses erläuterte Antinomie löst sich so, wie sie der gesunde Menschenverstand von jeher gelöst hat: nicht der Kirchturm, wohl aber der Zug wird aus der durch das Führungsfeld bestimmten natürlichen Bewegung durch die beim Zusammenstoss wirksam werdenden Molekularkräfte herausgerissen. Das Neue ist nur, dass wir das Führungsfeld nicht als etwas a priori Gegebenes hinnehmen dürfen, sondern nach dem Gesetze zu forschen haben, nach welchem die Materie das Führungsfeld erzeugt.

Bevor wir das in Angriff nehmen, will ich den *zweiten Grundgedanken* der allgemeinen Relativitätstheorie zur Sprache bringen. Sie behauptet, dass die Gravitation keine „Kraft" in dem eben eingeführten Sinne ist, welche die Körper aus ihrer natürlichen Bewegung ablenkt, sondern dass die Gravitation neben der Trägheit schon in der Beharrungstendenz des Führungsfeldes mitenthalten ist. Die Planeten folgen der ihnen vom Führungsfelde vorgeschriebenen Bahn; zur Erklärung ihrer Bewegung bedürfen wir nicht wie Newton einer besonderen „Schwerkraft". Wenn die Durchführung der Theorie diese Annahme bestätigen sollte, so wäre damit in einer voll befriedigenden Weise das Rätsel der Schwerkraft gelöst. Die bewegende Kraft, die ein elektrisches Feld auf einen Körper ausübt, ist dessen *Ladung* proportional; die bewegende Kraft aber, die das Gravitationsfeld auf einen Körper ausübt, ist nach Newton dessen *träger Masse* proportional, die an sich nach dem Grundgesetz der Mechanik eine ganz andere Bedeutung hat. Die Hauptaufgabe einer Theorie der Schwerkraft, die bisher allerdings niemals ernstlich in Angriff genommen worden war, ist eben die, diesen seltsamen Zusammenhang zwischen Gravitation und Trägheit zu erklären.

Weil die Kraft, mit der die Gravitation auf einen Körper wirkt, dessen träger Masse proportional ist, so erfahren alle Körper, gleichgültig von welcher Beschaffenheit und Masse, an einer bestimmten Stelle des Schwerefeldes dieselbe Beschleunigung *b.* Wir würden infolgedessen, wenn wir mit diesen Körpern zusammen in einen Kasten eingeschlossen sind, der sich mit der Beschleunigung *b* bewegt, konstatieren, dass die Körper sich genau so verhalten, wie Körper in einem ruhenden Kasten, auf die keine Schwerkraft wirkt. Man denke etwa an die Vorgänge in einem Lift, dessen Seil gerissen ist und der reibungslos im Schwerefeld der Erde abstürzt. Ein Beobachter in diesem Kasten wird finden, dass ein geworfener Körper nicht in einer Parabel zu Boden fällt, sondern mit gleichförmiger Geschwindigkeit in gerader Linie dahinfliegt; relativ zu diesem Kasten als Bezugskörper ist das Führungsfeld, wie wir sagen wollen, ein Galileisches (es gilt das Galileische Trägheitsprinzip). Wir, die wir auf der festen Erde stehen und dem Schauspiel zusehen, sagen: der Kasten ist beschleunigt, und das Führungsfeld, das die Bewegung der geworfenen Körper bestimmt, ist ein Galileisches plus Schwere; der Beobachter im Kasten sagt: der Kasten ruht, und das Führungsfeld ist lediglich ein Galileisches. Nach dem Prinzip von der Relativität der Bewegung hat der eine Standpunkt kein Vorzugsrecht vor dem andern. Ein „Kopernikanischer" Beobachter endlich behauptet sogar, dass nicht nur der Kasten sich bewegt, sondern auch die Erde sich dreht; er behauptet, dass die von dem auf der Erde stehenden Beobachter konstatierte Abweichung des Führungsfeldes vom Galileischen noch wiederum aus zwei

Teilen besteht, der Gravitation der Erde und der Zentrifugalkraft der Erd-Rotation, während von seinem Standpunkt aus dieser zweite Bestandteil fortfällt.

Man mache sich an solchen Beispielen klar, dass in der Tat gar kein physikalischer Anhaltspunkt dafür vorliegt, das Führungsfeld als zusammengesetzt aus Trägheit und Gravitation zu betrachten; sondern diese Zerspaltung ist willkürlich und abhängig vom Bewegungszustand des Bezugskörpers. In früherer Zeit wurde die Frage viel diskutiert, ob die Zentrifugalkraft eine wirkliche Kraft oder nur eine scheinbare, eine blosse Rechengrösse sei. Vereinigen wir, wie das der Einsteinsche Standpunkt mit sich bringt, die Gravitation mit den Trägheitskräften, so lautet die Antwort: sie sind *scheinbar,* sofern man *an einer einzelnen Weltstelle* stets einen derartigen Bezugskörper einführen kann, relativ zu dem das Führungsfeld ein Galileisches ist; sie sind *wirklich,* sofern es im allgemeinen nicht möglich ist, *für ein ausgedehntes Weltgebiet* einen derartigen Bezugskörper anzugeben (z. B. vom stürzenden Lift aus beurteilt, herrscht an der Stelle, wo er sich befindet, kein Schwerefeld, wohl aber bei den Antipoden). Nichts anderes als diesen letzten Umstand meinte eine früher von mir gebrauchte Redewendung, dass das Führungsfeld im allgemeinen von Weltstelle zu Weltstelle veränderlich sei.

Natürlich geschah es in der vor-Einsteinschen Physik nicht ganz ohne Grund, dass man das Führungsfeld in zwei Teile, Trägheit + Gravitation zerlegte. Diese Zerspaltung hat etwa die gleiche Bedeutung, wie wenn wir die gegebene Erdoberfläche uns konstruieren aus einer glatten Mittelfläche, dem Geoïd, + einer Abweichung davon, zu der die Berge, Meeresbecken, Flusstäler, Häuser, Bäume, Grashalme und herumliegende Steine gehören. Wir sind uns aber darüber klar, dass diese Zerspaltung keine durch die Natur gegebene ist und nur mit einer gewissen Willkür und niemals exakt definierbar vollzogen werden kann. Genau so liegt es hier. Vollends ins Unrecht setzt sich diese Zerspaltung aber dann, wenn man, wie es die Newtonsche Theorie tut, nur für die „Gravitation" genannte Abweichung nach einer *materiellen Ursache* sucht, den homogenen Untergrund des in der Trägheit zum Ausdruck kommenden Galileischen Führungsfeldes aber als etwas a priori Gegebenes ansieht. Das ist, vom Standpunkt der Einsteinschen Theorie aus, derselbe Fehler, den Demokrit vom Standpunkt der Newtonschen Theorie aus beging: Newton betrachtet die Fallrichtung eines Körpers als Einheit, und findet als ihre materielle Ursache die Anziehungskraft der Erde; Demokrit setzt sie zusammen aus einer absoluten Richtung „oben — unten" und einer Abweichung davon, hält die erste für eine a priori dem Raume zukommende Eigenschaft und sucht nur nach einer materiellen Ursache für die letzte. — Schliesslich will ich das Verhältnis von Trägheit und Gravitation noch durch die folgende Analogie veranschaulichen. Zwischen den Platten eines geladenen Kondensators entsteht ein elektrisches Feld, das im ganzen homogen ist, aber in der unmittelbaren Nähe der geladenen, das Feld erzeugenden Elektronen sich aus dem homogenen Verlauf so heraushebt wie kleine steile Bergkegel aus einer weit gedehnten Ebene. Die Zerlegung in das von allen Elektronen zusammen erzeugte homogene Feld und diese einzelnen aufgesetzten Bergkegel, die zu den einzelnen Elektronen gehören, bleibt natürlich bis zu einem gewissen Grade willkürlich. Genau so wird hier der homogene Untergrund des Führungsfeldes, den wir als Trägheit bezeichneten, durch das Zusammenwirken aller Massen im Universum hervorgerufen; über ihn überlagern sich die verhältnismässig sehr winzigen, Gravitation genannten Abweichungen, die von den einzelnen Körpermassen herrühren und diese umgeben. Diese Trennung ist für manche Zwecke bequem; aber sie bleibt immer mit einer gewissen Willkür behaftet und ist ohne objektive Bedeutung.

Damit komme ich endlich zu der Hauptfrage der Theorie: das *Gesetz* ist zu ermitteln, das anstelle des Newtonschen Gravitationsgesetzes zu treten hat, *das Gesetz, nach welchem Zustand und Verteilung der Materie das Führungsfeld bestimmen.* Da ist es nun das Wunderbare, dass die einzige Forderung „es muss unabhängig sein von dem in beliebigem Bewegungszustand begriffenen Bezugskörper, an dem wir uns orientieren" mit zwingender Macht, ohne Befragung der Wirklichkeit, rein spekulativ dieses Gesetz im wesentlichen eindeutig determiniert. Leider ist seine Formulierung mit so erheblichen mathematischen Schwierigkeiten verbunden, dass ich hier auf seine Darlegung verzichten muss. Und siehe da, dies Gesetz erklärt die Bewegung der Planeten mit derselben überwältigenden Genauigkeit wie das Newtonsche Attraktionsgesetz, das zuerst in der Menschheit den Glauben an die Gültigkeit strenger Naturgesetze befestigt hat. Somit zeigt sich, dass der zweite Grundgedanke der allgemeinen Relativitätstheorie „die Gravitation ist im Führungsfeld mitenthalten" gar keine neue Hypothese vorstellt; sondern die Durchführung der Theorie ergibt für einen Körper, der sich in der Nähe eines Massenzentrums wie die Sonne befindet, eine solche natürliche, allein durch die Beharrungstendenz des Führungsfeldes zustandekommende Bewegung, wie wir sie an den Planeten beobachten. Ja, Einsteins Theorie des Führungsfeldes liefert diese Bewegung sogar noch etwas genauer als die Newtonsche Theorie der Schwerkraft. Aus seinem Gesetz ergibt sich nämlich eine geringfügige Abweichung von dem nach Newton berechneten Ort der Planeten, eine Abweichung freilich, die selbst für den sonnennächsten Planeten, den Merkur, (wo sie allein merklich ist), innerhalb eines Jahrhunderts erst den Betrag von etwa 40 Bogensekunden erreicht. In der Tat ist schon seit langem eine solche Abweichung der Bewegung des Merkur von der ihm durch die Newtonsche Theorie vorgeschriebenen Bahn konstatiert worden, und es wurden von den Astronomen viele seltsame Hypothesen zu ihrer Erklärung ersonnen. Sie liefert uns jetzt die erste *empirische Bestätigung* der Einsteinschen Gravitationstheorie. Eine zweite Bestätigung hat sich jüngst aus Beobachtungen des Ortes von Fixsternen in der Nähe der verfinsterten Sonne ergeben. Nach der Relativitätstheorie muss sich nämlich die Bahn des Lichtes, wie die eines geworfenen Körpers im Schwerefeld krümmen. Nicht als ob das Licht aus materiellen Korpuskeln bestünde. Aber das im Lichte schwingende elektrische Feld ist mit Energie, also (siehe den Abschnitt II) mit träger Masse verbunden, und da nach der Relativitätstheorie träge Masse und Schwere wesensidentisch sind, muss auch das Licht schwer sein. Die Krümmung des Lichtstrahles hat zur Folge, dass der Stern in einer anderen Richtung erscheint, als seinem wahren, längst mit grosser Genauigkeit bekannten Orte entspricht. Die Verschiebung ist natürlich nur merklich für solche Sterne, die in unmittelbarer Nähe der Sonne stehen, d. h. für die der zu uns gelangende Lichstrahl dicht an der grossen Sonnenmasse vorübergegangen ist; und diese Sterne können nur bei einer totalen Sonnenfinsternis beobachtet werden. Die Abweichung soll nach der Theorie für einen Stern am Sonnenrand 1″. 74 betragen. Sie wurde von zwei englischen Expeditionen während der totalen Sonnenfinsternis vom 29. Mai 1919 gemessen; und zwar lieferte die Beobachtung in Sobral (Brasilien) den Wert 1″. 98 ± 0″. 12, die andere Expedition auf der Insel Principe im Golf von Guinea bestimmte sie zu 1″. 61 ± 0″. 30. Das ist bei der Subtilität der Messungen ein durchaus zufriedenstellendes Ergebnis.

Das Festhalten an dem der Vernunft evidenten Prinzip der Relativität aller Bewegung, den in der Erfahrung vorgefundenen Trägheitskräften zum Trotz, führte zu der Einsteinschen Deutung der *Gravitation.* Ebenso überzeugend ist aber das Prinzip von der *Relativität der Grösse,* nach dem durch die Grösse eines Gegenstandes an einer Weltstelle eine bestimmte Grösse an andern Weltstellen ideell nicht festgelegt sein kann; an ihm gilt es mit dem gleichen Mut festzuhalten, obwohl die Erfahrung, die uns die starren Körper vor Augen führt, ihm krass zu widersprechen scheint. Tut man dies, so gelangt man zu

einer Theorie der *elektromagnetischen Erscheinungen,* die deren Gesetze rein spekulativ, aus der Erkenntnis ihres Wesens heraus, herzuleiten imstande ist. Diese neue, vom Verfasser herrührende Erweiterung der Relativitätstheorie macht es aus absoluten Gründen begreiflich, warum die Welt vierdimensional ist, woher gerade diese Zahl 4 kommt. Im übrigen führt sie lediglich zu einer Bestätigung der längst bekannten elektrodynamischen Gesetze; sie ergibt keinerlei Abweichungen von ihnen, die an der Beobachtung nachgeprüft werden könnten. Wohl lassen sich aus ihr wichtige Konsequenzen ziehen über das Innerste der Materie und über den Bau des Weltganzen; das sind aber Erkenntnisse, die jeder Kontrolle durch die Erfahrung spotten.

Eine neue Weltansicht tut sich uns auf. Früher gab es für uns einen leeren Raum, dessen innere metrische Natur durch die euklidische Geometrie beschrieben wurde, als die Schaubühne des Weltgeschehens. In ihm konstituierte sich die Materie, eine Substanz von gediegener Realität; die Bewegung und Veränderung der Materie, erzeugt durch die aus ihr hervorbrechenden Kräfte, machte den Inhalt des Weltgeschehens aus. Die Kräfte und ihre Gesetze mussten der Erfahrung abgelauscht werden; man hatte sie nach Zahl und Art so hinzunehmen, wie die Wirklichkeit sie uns kennen lehrte, es gab da nichts weiter zu „begreifen". Ganz anders jetzt: es gibt allein eine vierdimensionale, mit einem metrischen Felde begabte Welt. (Ich spreche hier nicht vom Führungsfeld; denn in der Tat stellt sich heraus, wie ja auch in der gewöhnlichen Geometrie der Begriff der geraden Linie auf Grund des Kongruenzbegriffes definiert werden kann dass das Führungsfeld in einer tieferen Beschaffenheit der Welt, ihrem metrischen Felde fundiert ist, das den Wirkungszusammenhang der Welt bestimmt und zugleich das Verhalten der zum Messen von Raum und Zeit verwendeten Massstäbe und Uhren.) Alle Naturkräfte sind Aeusserungen dieses metrischen Feldes. Der Traum des Descartes einer rein geometrischen Physik scheint, in einer freilich von ihm gar nicht vorausgesehenen Weise, in Erfüllung zu gehen. Wir dürfen hoffen, das Wesen der Naturkräfte so tief zu erkennen, dass aus solcher Einsicht mit vernunftmässiger Notwendigkeit die Gesetze sich ergeben, die ihre Wirksamkeit beherrschen. Ist auch das Ziel heute bei weitem noch nicht erreicht, so aus Einem Prinzip heraus die ganze Fülle und Mannigfaltigkeit der Erscheinungen bis in die feinsten Einzelheiten hinein zu begreifen, so sind wir doch ohne Zweifel der Erfassung der Weltvernunft, die dem physischen Geschehen innewohnt, einen gewaltigen Schritt näher gekommen.

Kaum zu überschätzen ist die Bedeutung der neuen, durch die Relativitätstheorie geöffneten Weltansicht für die Physik und Philosophie. So ist der Versuch wohl berechtigt, die Kunde von ihr über den engsten Fachkreis hinauszutragen in den weiteren Kreis aller zum kritischen Denken Befähigten. Für die praktische Arbeit des Ingenieurs freilich ist sie ohne Anwendung; denn die Aenderungen, die sie an den Newtonschen Gesetzen der Mechanik und den andern klassischen Gesetzen der Physik bewirkt, sind so winzig, dass sie sich überhaupt nur durch die allersubtilsten Experimente feststellen liessen. Braucht doch der Ingenieur sich nicht einmal um die Kopernikanische Erkenntnis zu bekümmern, dass die Erde sich bewegt; unbedenklich rechnet er seine Konstruktionen so durch, als wäre die Erde ein berechtigter Bezugskörper im Sinne des Galileischen Trägheitsprinzips. Auch darf man nicht erwarten, dass von der Relativitätstheorie eine ähnlich tiefgehende Wirkung auf die Gesamtkultur des Abendlandes ausgehen wird wie von der Kopernikanischen Umwälzung; denn was sie stürzt, ist lange nicht in dem Masse, wie es mit der vor-kopernikanischen Auffassung des Weltbaus zu ihrer Zeit der Fall war, verwachsen mit den allgemeinen Wesenszügen, dem inneren Leben, den treibenden Problemen und der ganzen Gestalt unserer Kultur.

Wohlfahrtshaus in Chippis der A. I. A. G.

Architekten *Müller & Freytag* in Thalwil.

(Schluss von Seite 220, mit Tafeln 5 bis 8.)

Vom Innern des „Foyer" vermitteln die beigefügten Tafelbilder einen Eindruck, der naturgemäss infolge Fehlens der Farben nur ein unvollkommener ist. So ist zu sagen, dass die in nebenstehendem Bilde allzu dunkel geratenen, gelb gestrichenen hölzernen Beleuchtungskörper in Wirklichkeit den übrigen Farbenklängen des Festsaales angepasst sind. Weiter ist zu beachten, dass dem grossen Sitzungszimmer im I. Stock sowohl das endgültige Mobiliar wie der Wandschmuck fehlen; die gerahmten Bilder im Treppenvorplatz, dem Zugang des Sitzungszimmers, sind von einem Gönner des Hauses geschenkt worden. Von besonderem Reiz sind die im Erdgeschoss des Vordertraktes (vergl. Grundrisse auf Seite 219) liegenden Räume, die auf den Tafeln 6 und 7 abgebildet sind. Der Speiseraum der Werkführer hat Arventäfer erhalten (sein mittlerer Beleuchtungskörper ist ein vorhandenes Modell). Im übrigen sprechen die Bilder für sich; sie bestätigen, dass auch das Innere mit gleicher Liebe und Sorgfalt und mit gleichem Gelingen durchgeführt ist, wie das Aeussere.

Von den am Bau beteiligt gewesenen Unternehmern seien blos die wichtigsten hier genannt: H. & W. Hügli in Bern für die Erd-, Maurer- und Eisenbetonarbeiten, E. Haberer & Cie. in Bern für Gipser- und Malerarbeiten und Gebr. Sulzer für die Heizungs- und sanitären Anlagen. Zu diesen gehören auch die Dampfapparate der Küche im Erdgeschoss und die Einrichtung der Bäder im Untergeschoss (vergl. die Grundrisse auf S. 219 letzter Nummer).

Energieverteilung und Energiebedarf des „Chicago, Milwaukee & St. Paul Railway".

Die den Lesern der „Schweiz. Bauzeitung" bisher über die Elektrifizierung des „Chicago, Milwaukee & St. Paul Ry." mitgeteilten Einzelheiten beziehen sich vorwiegend auf den Lokomotivpark[1]) der genannten, äusserst bedeutsamen Bahnanlage, während ihre Energieverteilung und ihr Energiebedarf hier bisher kaum behandelt wurden. Eine Ergänzung der Berichterstattung in dieser Hinsicht ist umsomehr gerechtfertigt, als das wirtschaftliche Ergebnis dieser Anlageteile nicht weniger zum Erfolg dieser Elektrifizierung beigetragen hat, als die im allgemeinen wohlgelungene Ausbildung des Lokomotivparks.

Bekanntlich ist die zunächst hier zu würdigende *Energieverteilung* insbesondere gekennzeichnet durch das Gleichstromsystem mit 3000 V Fahrspannung für die Energieversorgung der fahrenden Züge; dieser Gleichstrom wird in Unterwerken aus Drehstrom von 60 Per. und 100 000 V durch *Umformung* gewonnen, der seitens der „Montana Power Co." geliefert wird. Die fast durchwegs einspurigen, elektrifizierten Berg- und Küstenstrecken des „Chicago, Milwaukee & St. Paul Ry." nehmen ihren Anfang in Harlowton, am Ostfuss des Felsengebirges, und endigen in Seattle (Pacific Coast), am Ufer eines langen Fjords, der in den grossen Ozean hinausführt. Die Bahnlinie von Harlowton bis Seattle misst 1040 km; sie ist in die drei Abschnitte „Rocky Mountain Division" (von Harlowton bis Deer Lodge, 370 km), „Missoula Division" (von Deer Lodge bis Avery, 337 km), und „Coast Division" (von Avery bis Seattle, 333 km) eingeteilt. Die Aufnahme des elektrischen Betriebs begann im Dezember 1915 auf der westlichen Hälfte der „Rocky Mountain Division", und umfasste ein Jahr später die Gesamtheit der Abschnitte „Rocky Mountain" und „Missoula". Der letzte Abschnitt „Coast Division" kann erst seit dem März 1920 elektrisch betrieben werden. Die beiden ersten Abschnitte werden mit je sieben, der letzte Abschnitt mit acht Unterwerken versorgt. In unsern nachfolgenden Ausführungen werden

[1]) Vergl. insbesondere den Aufsatz von *A. Laternser* auf Seite 49 von Band LXXVII (29. Jan. 1921) und die zugehörigen Fussnoten.