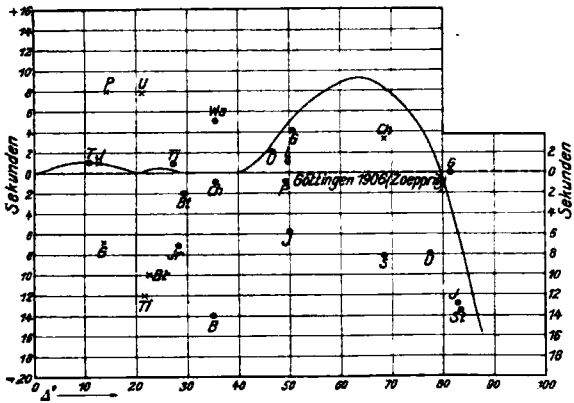


funktion. Es sei ausdrücklich bemerkt, daß die neue Laufzeitfunktion nicht eine Ausgleichung der Beobachtungen sein soll, sondern die Figur soll zeigen, daß die beobachteten Laufzeiten der auf ganz anderem Wege gewonnenen neuen Funktion nicht widersprechen. Auf Grund der



○ = Indisches Beben 1905, April 4; X = Kalabrisches Beben 1905, Sept. 8; ⊕ = San Fanzisko-Beben 1906, Apr. 18;

B = Baltimore, Jy = Irkutsk, T = Taschkent,
 B = Batum, L = Leipzig, Ty = Tiflis,
 Ch = Cheltenham, P = Potsdam, U = Upsala,
 G = Göttingen, S = Samoa, Wa = Washington,
 J = Jena, St = Straßburg,

Fig. 4

neuen Laufzeitfunktion für P und S haben wir die Laufzeitfunktionen für PP, PPP, SS, SSS, PS, PPS, PSS, PPSS berechnet. Die Laufzeitfunktionen dieser Wechselwellen gelten natürlich auch für diejenigen Wechselwellen, die man durch Umstellen ihrer Symbole erhält. Auf Grund dieser Laufzeitfunktionen wurden dann die Herddistanzen der benützten Beben revidiert. Fig. 2 enthält bereits die so berichtigen Δ -Werte.

Konstanten der drei Unstetigkeitsflächen. Nach der Herglotz-Wiechertschen Methode¹⁾ wurde die Tiefe der zweiten und dritten Unstetigkeitsfläche aus $\sin i(\Delta)$ berechnet, während die Tiefe der ersten Unstetigkeitsfläche nicht neu berechnet werden konnte. Es ergab sich als Tiefe der zweiten resp. dritten Unstetigkeitsfläche 1747 ± 100 und 2491 ± 150 Kilometer, während die Longitudinalwellen 1677 ± 100 und 2435 ± 150 Kilometer geliefert hatten. Die Differenz ist also nur 70 Kilometer = 4 Proz. resp. 56 Kilometer = $2\frac{1}{4}$ Proz. Die folgende Übersicht gibt für die wahrscheinlichsten Tiefenwerte der drei Unstetigkeitsflächen die Geschwindigkeiten V der Longitudinalwellen, \mathfrak{B} der Transversalwellen und die Poissonsche Konstante μ :

1) E. Wiechert und L. Geiger, diese Zeitschr. 11, 294-311, 1910.

Tiefe km	V km/Sek	\mathfrak{B} km/Sek	μ
1193 ± 50	11,80	6,59	0,273
1712 ± 100	12,22	6,86	0,270
2454 ± 100	13,29	7,32	0,282

Zusammenfassung der Resultate:

1. Das Studium der transversalen Erdbebenwellen für Herddistanzen zwischen 63° und 82° ergibt, daß diese Wellen in der Ebene durch Herd, Erdmittelpunkt, Station schwingen.

2. Die Intensitätsverhältnisse der longitudinalen und transversalen Wellen lassen sich quantitativ durch je eine Hypothese darstellen die sich mit den Zoeppritzschen Laufzeitbeobachtungen verträgt.

3. Die bei den Longitudinalwellen gefundenen drei Unstetigkeitsflächen wurden durch die Beobachtungen an Transversalwellen gut bestätigt.

Göttingen, Geophysikalisches Institut, den 18. Dezember 1911.

(Eingegangen 21. Dezember 1911.)

Zwei Einwände gegen die Relativitätstheorie und ihre Widerlegung.

Von M. Laue.

I.

Unter all den paradox erscheinenden Folgerungen aus der Zeittransformation der Relativitätstheorie gibt es wohl keine, gegen welche der natürliche Menschenverstand bei jedem, der der Sache noch ungewohnt ist, so sehr sträubt, wie gegen die, daß die Zeitangabe einer Uhr von ihrem Bewegungszustand abhängen soll. Schon in seiner grundlegenden Arbeit hat Einstein diese Paradoxie auf die Spitze getrieben in einem Gedankenexperiment, welches neuerdings von Langevin¹⁾ in einem auch sonst sehr lesenswerten Vortrage besonders hübsch erläutert worden ist.

Mit einer kleinen Abänderung stellt es sich folgendermaßen dar:

Eine Schar von physikalisch ganz gleichen und gleichgestellten Uhren bewege sich mit einheitlicher Geschwindigkeit auf derselben Bahn, alle so nahe benachbart, daß sie als gleichzeitig in demselben Punkte liegend betrachtet werden können. Sie messen dann alle übereinstimmend die Eigenzeit im Minkowskischen Sinne für die ihrer Bewegung entsprechende Weltlinie. In einem bestimmten Moment aber trennen sich ihre Bahnen, und erst nach Ablauf einer gewissen Zeit kommen sie wieder gleichzeitig im gleichen Raumpunkt zusammen, um von da ab wieder eine gemeinsame Bewegung durchzumachen. Bei ihrem Zusammentreffen bestehen

1) P. Langevin, Scientia 10, 31, 1911.

zwischen ihren Angaben Unterschiede, welche dauernd erhalten bleiben. Am weitesten vorgerückt ist während der Trennungszeit diejenige Uhr, welche inzwischen in einem berechtigten Bezugssystem ruhte; und zwar gibt es immer ein und nur ein berechtigtes Bezugssystem, für welches die Orte der Trennung und Wiedervereinigung in demselben geometrischen Punkte liegen.

Der Widerspruch, den innerlich wohl jeder zunächst hiergegen erhebt, hat neuerdings zwei Autoren veranlaßt, an dieser Stelle Einspruch zu erheben. Berg¹⁾ verwirft die Folgerung und meint, daß in der Einsteinschen Überlegung ein Fehler stecke. Im Gegensatz dazu beweist Wiechert²⁾ besonders schlagend, daß sich der geschilderte Sachverhalt aus den Relativgesetzen ergibt, dennoch meint er, er widerspräche dem „unbedingten“ Relativitätsprinzip, und zeige besonders deutlich die Ungleichwertigkeit verschiedener „Schreitungen“.

Wir wollen diesen Einwand prüfen, indem wir Minkowskis vierdimensionale Welt der Darstellung zugrunde legen. Das Relativitätsprinzip behauptet die Gleichwertigkeit aller zeitartigen Richtungen in ihr. Das Einsteinsche Experiment aber wird durch eine gekrümmte Weltlinie dargestellt, welche sich in einem Weltpunkt *A* in einer Reihe von Kurven auflöst, die sich alle in einem zweiten Weltpunkte *B* wieder zu einer einzigen Linie vereinigen. Von allen, die Punkte *A* und *B* verbindenden Kurven mit durchweg zeitartiger Richtung hat die gerade Verbindung die längste Eigenzeit; das ist der Inhalt der Einsteinschen Überlegung. Daß auf diese Weise eine unter allen zeitartigen Richtungen ausgezeichnet ist, ist zuzugeben; doch liegt diese Auszeichnung offenbar nicht in den benutzten Naturgesetzen, sondern allein in der Wahl der Weltpunkte *A* und *B*, d. h. in den speziellen Voraussetzungen unseres Beispiels.

Zum Schluß sei ein Analogon gestattet. Eine der wichtigsten physikalischen Erkenntnisse ist die der physikalischen Gleichwertigkeit aller Richtungen im (dreidimensionalen) Raum; und eines der elementarsten geometrischen Gesetze lautet, daß zwei Punkte eine gerade Linie, und damit auch eine Richtung bestimmen. Es entspräche dem obigen Einwand gegen die Relativitätstheorie, wenn man jenes Gesetz der Isotropie des Raumes mit Hilfe dieses geometrischen Satzes widerlegen wollte.

II.

Ein weiteres Anzeichen für die Existenz des Äthers sieht Wiechert in dem Vorhandensein

von Grenzschreitungen, welche in jedem Bezugssystem mit Lichtgeschwindigkeit vor sich gehen. Für kleinere Geschwindigkeiten gibt er die Richtigkeit der Relativitätsgesetze für sehr wahrscheinlich zu. (die Gravitation dürfen wir hier wohl aus der Diskussion ausschalten); aber jenseits dieser Grenze erwartet er ganz neue Erscheinungen, aus welchen der Bewegungszustand des Äthers zu erkennen ist.

Mit einer sehr treffenden Bezeichnungsweise unterscheidet Wiechert den Standpunkt des „bedingten“ von dem des „unbedingten“ Relativitätsprinzips. Beide stimmen in der mathematischen Formulierung der „Relativitätsgesetze“ für Unterlichtgeschwindigkeiten völlig überein. Dennoch unterscheiden sie sich wesentlich in der Wertung des Relativitätsprinzips. Für den ersteren Standpunkt ist es nur eine mathematisch zweckmäßige Rechnungsregel; denn es gibt eben dort ein ausgezeichnetes, im Äther ruhendes Bezugssystem, dessen Zeit „die Zeit“ ist, während die Zeit aller anderen Systeme in Lorentz-scher Ausdrucksweise nur „Ortszeit“ ist. Es ist hier durchaus zulässig, von Geschwindigkeiten jeden Betrages zu sprechen und, da die Lichtgeschwindigkeit in der Tat eine Grenze für die Relativitätsgesetze bildet, von Überlichtgeschwindigkeiten wesentlich neue Erkenntnisse zu erwarten.

Dem zweiten der genannten Standpunkte hingegen ist die Gleichwertigkeit aller Bezugssysteme Naturgesetz; gleichwertig sind sie aber nur, wenn die ihnen zugeordneten Zeiten völlig gleichberechtigt sind. Nun haben schon Einstein und vielleicht noch etwas bestimmter Langevin und der Verfasser¹⁾ dieser Entgegnung gezeigt, daß die Existenz von Überlichtgeschwindigkeiten die Eindeutigkeit der Zuordnung von Ursache und Wirkung aufheben müßte. (Das bedingte Relativitätsprinzip freilich entgeht diesem Schluß, weil es durch Übergang von den Ortszeiten zu „der“ Zeit die Eindeutigkeit wieder herstellen kann.) Es ist somit eine Folgerung aus dem unbedingten Relativitäts- und dem Kausalitätsprinzip, daß Schreitungen jenseits der Wiechert-schen Grenzschreitungen nicht vorkommen. Wenn also Wiechert sagt: „Für die Beurteilung dessen, was mit der Materie geschieht, wenn die Grenzen des Gebiets überschritten werden, fehlt heute noch jeder Anhalt“, so führt er damit konsequent seinen Standpunkt des bedingten Relativitätsprinzips durch. Aber einen Einwand gegen die Auffassung des „unbedingten“ Relativitätsprinzips daraus herzuleiten, wie Wiechert in § 15 tut, ist unmöglich. Und wenn Wiechert schreibt²⁾: „Sobald nun aber aus den Be-

1) O. Berg, Das Relativitätsprinzip der Elektrodynamik, S. 37—38. Göttingen 1910.

2) E. Wiechert, diese Zeitschr. 12, 689 u. 737, 1911.

1) A. Einstein, Ann. d. Phys. 15, 891, 1905; P. Langevin, l. c.; M. Laue, diese Zeitschr. 12, 85, 1911.

2) l. c. S. 743 rechts.

obachtungen auf die Gültigkeit der Relativitätsgesetze geschlossen wird, so daß, wie eben beschrieben, eine natürliche Abgrenzung der uns gewohnten Bewegungszustände angenommen werden muß, ist es unmöglich der Folgerung zu entgehen, daß eben doch nicht alle Schreitungen für das Weltgeschehen gleichwertig sind⁴, so ist dieser Schluß im System des unbedingten Relativitätsprinzips gänzlich unzulässig. Denn diese Auffassung muß notwendig das Vorkommen von Überlichtgeschwindigkeiten für die Materie leugnen. Von der Nichtexistenz gewisser an sich denkbarer Schreitungen auf verschiedene Wertigkeit der möglichen Schreitungen zu schließen, geht aber nicht an.

Im übrigen scheint mir, als könnte die ganze Frage nach der Existenz des Äthers und der absoluten Zeit ohne Schaden aus der physikalischen Diskussion verbannt werden; solange als nicht ganz neue Tatsachen, wie etwa die Existenz von Überlichtgeschwindigkeiten oder ein Widerspruch zwischen den Erscheinungen der Gravitation und dem Relativitätsprinzip vom Experiment nachgewiesen werden, läßt sich zwischen beiden genannten Standpunkten physikalisch nicht entscheiden. Über alle der Messung zugänglichen Größen liefern sie genau dieselben Aussagen. Damit soll nicht gesagt sein, daß die Frage kein Interesse hätte, im Gegenteil scheint sie mir von großer philosophischer Bedeutung; aber gerade deswegen sollte sie wohl auch der Behandlung mit philosophischen Methoden vorbehalten bleiben.

München, Dezember 1911.

(Eingegangen 6. Dezember 1911.)

Relativitätsprinzip und Äther.

Eine Entgegnung an Herrn Wiechert.

Von Normann Campbell.

Inhaltsübersicht.

- 1.—3. Vorbemerkungen zur Erläuterung der zur Erörterung kommenden Frage.
- 4., 5. Untersuchung des Begriffes „Schreitung“.
- 6.—8. Betrachtung des ersten Argumentes des Herrn Wiechert.
9. Betrachtung des zweiten Argumentes des Herrn Wiechert.
10. Betrachtung des dritten Argumentes des Herrn Wiechert.
11. Entgegnung auf Herrn Wiecherts Einwände gegen meine Kritik des Ätherbegriffes.
- 12., 13. Herrn Wiecherts Behandlung der „Gleichzeitigkeit“.
- 14.—16. Die Bedeutung der „Gleichzeitigkeit“ bei Annahme des Relativitätsprinzips.
17. Die Bedeutung der „Geschwindigkeit“ nach dem Relativitätsprinzip.

1. In zwei langen Arbeiten¹⁾ hat Herr Wiechert versucht, den Begriff des Äthers gegen die Angriffe zu verteidigen, die gegen ihn auf Grund des Einsteinschen Relativitätsprinzips erhoben worden sind. Da er im Laufe seiner Beweisführung auf einige Bemerkungen Bezug genommen hat, die ich über den Gegenstand gemacht habe, so wird es mir vielleicht gestattet sein, ein paar Bemerkungen zur Entgegnung zu machen.

2. Ehe ich die Diskussion beginne, möchte ich zwei allgemeine Punkte feststellen:

(1.) Meine Einwendungen richten sich nicht einfach gegen den Gebrauch des Wortes „Äther“, sondern gegen den Gebrauch gewisser Begriffe, die man bei der Entwicklung physikalischer Theorien allgemein mit diesem Worte verbunden hat. Wenn irgend jemand das Wort in einem neuen Sinne anwenden will, so habe ich naturgemäß dagegen ohne weiteres nichts einzuwenden. Selbst wenn jemand sagen wollte, die oben erwähnten Begriffe seien für ihn nützlich, und er bewahre den festen Glauben an die „Existenz des Äthers“, so erhebe ich keinen Widerspruch, solange er nicht diese Begriffe in eine physikalische Theorie einzuführen beabsichtigt. Als Physiker streite ich ebenso wenig mit einem Menschen, der „an den Äther glaubt“, wie mit einem Menschen, der „an Gott glaubt“, solange er bei der Entwicklung physikalischer Theorien von ersterem Begriff nicht mehr Gebrauch macht als von letzterem.

Die Begriffe, welche den Gegenstand des Streites bilden, beruhen sämtlich in letzter Linie auf dem Begriffe einer „Geschwindigkeit des Äthers“ oder einer „Geschwindigkeit relativ zum Äther“. Eben gegen die Einführung dieser „Geschwindigkeit“ in physikalische Theorien, also einer „Geschwindigkeit“, die nicht die Geschwindigkeit eines materiellen Systems in bezug auf ein anderes ist, richten sich die Einwendungen. Die Gegner des Äthers behaupten, daß es weder notwendig noch wünschenswert sei, in irgendeine physikalische Theorie irgendeine Größe von der Dimension einer Geschwindigkeit einzuführen, die nicht die Geschwindigkeit irgendeines scharf bestimmten materiellen Systems in bezug auf ein anderes derartiges System ist. Herr Wiechert meint — falls ich ihn recht verstehe —, daß es wünschenswert sei, eine solche Größe einzuführen. Der Unterschied zwischen uns betrifft nicht nur den Gebrauch eines bestimmten Wortes, sondern die Einführung einer bestimmten Größe in physikalische Theorien. Vielleicht wird diese

1) Diese Zeitschr. 12, 689—707, 737—758, 1911.