

**4. Bemerkungen zu der Abhandlung
Hrn. A. H. Bucherers: „Die experimentelle
Bestätigung des Relativitätsprinzips“;
von A. Bestelmeyer.**

Hr. Bucherer hat in einer „die experimentelle Bestätigung der Lorentz-Einsteinschen Theorie“ bzw. „die experimentelle Bestätigung des Relativitätsprinzips“ betitelten Abhandlung auf der Naturforscherversammlung in Köln¹⁾ (1908) und in dieser Zeitschrift²⁾ über interessante Versuche berichtet, welche er zur Messung der Veränderlichkeit der spezifischen Ladung der Elektronen angestellt hat.

Gegenüber den bisher vorliegenden Messungen bedeutet es einen erheblichen Fortschritt, daß es Hrn. Bucherer gelungen ist, unter Anwendung von Radium als Strahlungsquelle das Gebiet der mittleren Elektronengeschwindigkeiten zu untersuchen. Es ist dies für die Frage nach der Veränderlichkeit der Elektronenmasse das günstigste Gebiet; denn bei kleinen Geschwindigkeiten ist der Einfluß der Geschwindigkeit zu gering, bei großen Geschwindigkeiten dagegen zu groß (in den Reihenentwickelungen gewinnen bereits die höheren Potenzen von β^2 Einfluß), so daß im ersten Falle die Genauigkeitsanforderung an die Messung der Masse, im zweiten Falle diejenige an die Messung der Geschwindigkeit die Schwierigkeiten steigert.

Trotzdem scheint mir Hrn. Bucherers Anspruch, „den Nachweis der Gültigkeit des Lorentz-Einsteinschen Relativitätsprinzips“ erbracht zu haben, zu weitgehend, aus Gründen, die ich im folgenden darlegen will. Ich hätte gerne mit einer Besprechung dieser Versuche gewartet, bis ich in der Lage gewesen wäre, zu dem Problem Positives aus eigenen Versuchen beizutragen; verschiedene Umstände, sowie der Wunsch,

1) A. H. Bucherer, Physik. Zeitschr. **9**. p. 755—762. 1908.

2) A. H. Bucherer, Ann. d. Phys. **28**. p. 513—536. 1909.

möglichste Präzision und Zuverlässigkeit zu erreichen, haben leider sehr verzögernd gewirkt, so daß sich meine Versuche noch im Stadium der Vorbereitung befinden. Der in der letzten Abhandlung Hrn. Bucherers enthaltene Vorwurf eines Rechenfehlers in meiner eigenen Abhandlung¹⁾ nötigt mich jedoch, schon jetzt das Wort zu ergreifen.

Allgemeines.

Es ist zum mindesten fraglich, ob überhaupt die Versuche eines einzigen Forschers mit einem einzigen Apparat ausreichen können, eine so wichtige Frage wie die der Grundlagen der Theorie der Elektrizität und vielleicht selbst der Mechanik definitiv zu entscheiden. Jedenfalls aber scheint mir in einem solchen Falle einerseits eine detaillierte Angabe aller Messungen und Beobachtungsprotokolle, andererseits eine ausführliche Besprechung aller Fehlerquellen nötig. Die erwähnten Angaben, namentlich ziffermäßige, sind in den zitierten Abhandlungen vielfach zu spärlich, um sich ein eigenes Urteil über die vermutlich erreichte Genauigkeit bilden zu können. So ist z. B., um nur eines zu erwähnen, nicht ersichtlich, wer die Regulierung des Magnetfeldstromes, der mittels städtischer Spannung erzeugt wurde, während der bis zu 60 Stunden dauernden Expositionen vornahm, und in welchen Zwischenräumen die Messung dieses Stromes vorgenommen wurde. Die Anzahl der Versuche ist eine recht kleine. Von Versuchen, die bis Nr. 13 numeriert sind, finden sich nur vier und das Mittel (!) aus zwei weiteren angeführt; ob die nicht aufgeführten Versuche überhaupt nicht zu Ende geführt, oder weshalb sie verworfen wurden, ist nicht erwähnt.

Vergleicht man die aufgeführten Versuche bezüglich der nach Lorentz bzw. Abraham berechneten Werte von ε/μ_0 miteinander, so findet man, daß die ersten vier Zahlen nach der Abrahamschen Theorie nicht viel schlechter stimmen, als nach der Lorentzschen, jedenfalls nicht so viel, daß man aus diesem Grunde der einen Theorie vor der anderen den Vorzug geben könnte. Nur der letzte Wert fällt bei der Abrahamschen Berechnung erheblich heraus. Dies zeigt die

1) A. Bestelmeyer, Ann. d. Phys. 22. p. 429—447. 1907.

folgende Tabelle, die neben den Werten von ε/μ_0 die Abweichung vom Mittel der ersten vier Zahlen in Einheiten der letzten Stelle enthält.

Eine exakte Nachrechnung der Werte von ε/μ_0 ist nach den vorliegenden Angaben nicht möglich. Bei der Berechnung der Versuche 10 und 11 muß ein Rechenfehler von 7 Einheiten der letzten Dezimale vorliegen. Entweder ist der Wert nach Lorentz zu groß oder der nach Abraham zu klein angegeben.

Nummer des Versuches	β	$\varepsilon/\mu_0 \cdot 10^{-7}$		$\varepsilon/\mu_0 \cdot 10^{-7}$	
		nach L.	Diff.	nach Abr.	Diff.
Mittel der vier ersten Werte		1,759		1,722	
10 u. 11	0,3173	1,752	-7	1,726	+4
8	0,3787	1,761	+2	1,733	+11
7	0,4281	1,760	+1	1,723	+1
13	0,5154	1,763	+4	1,706	-16
3	0,6870	1,767	+8	1,642	-80

Der Schluß des Hrn. Bucherer baut sich also fast allein auf dem Ergebnis des Versuches Nr. 3 auf.

Die Versuchsmethode.

Hr. Bucherer hat den schönen Gedanken gehabt, die von mir verwandte Methode der gekreuzten Felder durch Benutzung von schief gegen das Magnetfeld fliegenden Elektronen so abzuändern, daß man mit *einer* Aufnahme eine Kurve erhält, deren einzelne Punkte verschiedenen Werten der Geschwindigkeit entsprechen, und daher die Veränderlichkeit von ε/μ_0 aus *einer* Kurve zu berechnen erlauben. Bei der Ausführung dieses Gedankens muß man freilich einen wesentlichen Vorteil der Methode der gekreuzten Felder aufgeben, nämlich den, daß die Elektronen bei allen Geschwindigkeiten denselben Weg durchlaufen; gerade diese Eigentümlichkeit der Methode macht unter gewissen Voraussetzungen die Messung der Funktion

$\varphi(\beta)$ in der Gleichung $\mu = \mu_0 \cdot \varphi(\beta)$ unabhängig von den Apparatdimensionen und führt sie zurück auf eine leicht genau auszuführende Messung von Strom und Spannung. Auch die Intensitätsverhältnisse werden bei der getroffenen Anordnung sehr viel ungünstiger. Der eingetauschte Vorteil, die Werte von ϵ/μ_0 für mehrere Geschwindigkeiten aus *einer* Kurve berechnen zu können, wiegt wohl den erwähnten Nachteil kaum auf. Immerhin ist eine Variation der Versuchsbedingungen, welche in irgend einer Hinsicht einen Vorteil bringt, bei einer so wichtigen Frage zu begrüßen.

Nun hat Hr. Bucherer seine Kurven nach der von ihm beschriebenen Methode zwar aufgenommen; die in Rede stehenden Resultate sind aber nicht unter Verwendung dieser Abänderung der Methode gewonnen, sondern es liegen ihnen, wie dies an beiden Stellen ausgesprochen ist, lediglich die Messungen der Ablenkung der senkrecht zum Magnetfeld fliegenden Elektronen zugrunde; *die Methode ist also, soweit sie hier in Frage kommt, identisch mit der von mir beschriebenen und angewandten Methode.* In der Ausführung weicht sie in einem Punkte ab. Hr. Bucherer hat für verschiedene Geschwindigkeiten verschiedene Ablenkungen gewählt. Er hat damit einen Hauptvorteil der Methode aufgegeben, ohne irgend einen anderen Vorteil dafür einzutauschen.

**Die Rolle der nichtkompensierten Strahlen;
der „Rechenfehler“.**

In der Diskussion zu Köln hatte ich Bedenken geäußert dahingehend, daß neben den im Kondensator nicht abgelenkten Elektronen auch Elektronen größerer und kleinerer Geschwindigkeiten hindurchgehen und je nach dem Betrage der ursprünglich vorhandenen Strahlenmengen der verschiedenen Geschwindigkeiten die photographische Kurve verschieben können. In der Abhandlung in den Annalen kommt Hr. Bucherer auf diesen Einwand zurück und leitet in einem eigenen Kapitel „die Rolle der nichtkompensierten Strahlen“ die Formeln ab, welche die Auftreffstelle des schnellsten und langsamsten, eben noch zwischen den Kondensatorplatten durchgehenden Strahles zu berechnen gestatten.

Er wendet sodann diese Gleichungen auf einen *meiner* (!) Versuche an, und findet, daß mir ein Rechenfehler unterlaufen sei, indem er rückwärts als Ablenkung bei Versuch 4 22,15 mm statt der beobachteten 22,67 mm und als „richtig berechneten“ Wert für ϵ/μ_0 $1,76 \cdot 10^7$ statt $1,736 \cdot 10^7$ (Mittel aus drei Versuchen: 1,733) findet. *Der Rechenfehler liegt auf Seite des Hrn. Bucherer.* Er hat in seinen Formeln den von mir als *mittlere* Geschwindigkeit angegebenen Wert eingesetzt, statt der zum Magnetfeld senkrechten Geschwindigkeitskomponente der im Kondensator *kompensierten* Strahlen. Da von den schnelleren Strahlen mehr durchgehen als von den langsameren, so ist die mittlere Geschwindigkeit etwas größer als die Geschwindigkeit der kompensierten Strahlen. Da außerdem in meinen Versuchen infolge der großen Ausdehnung der Strahlungsquelle die Strahlen im Mittel etwas geneigt gegen das Magnetfeld verliefen, so ist die Geschwindigkeit im Mittel etwas größer als die Geschwindigkeitskomponente, auf welche das Magnetfeld wirkt. Beide Reduktionen habe ich ausdrücklich angegeben, und zwar die erstere zu 1 Proz., die letztere zu 0,8 Proz. Subtrahiert man diese 1,8 Proz. von dem Werte für β , oder legt man der Rechnung die für Magnet- und elektrisches Feld angegebenen Werte, oder die Werte für Stromstärke und Spannung unter Benutzung der Apparatdimensionen zugrunde, so findet man immer den von mir *richtig berechneten* Wert ϵ/μ_0 (nach Lorentz) $= 1,736 \cdot 10^7$.

Wir wollen uns nun wieder der Betrachtung der Rolle der nichtkompensierten Strahlen zuwenden. In der zitierten Abhandlung heißt es: „Mit den Gleichungen (20), (17) und (22) ist alles gegeben, was zur Berechnung der Ablenkung der nichtkompensierten Strahlen erforderlich ist.“

Das ist nicht richtig; die Berechnung der Bahnen des schnellsten und des langsamsten Elektrons gibt uns gar keinen Aufschluß über die Lage des Intensitätsmaximums und über die Intensitätsverteilung auf der photographischen Platte, *sie gibt uns nicht einmal die Grenzen des Bildes*; denn diese Strahlen extremer Geschwindigkeiten sind keineswegs Grenzstrahlen des die Platte treffenden Bündels. Will man sich wirklich Rechenschaft geben über die Rolle der nichtkompensierten Strahlen, so muß man zunächst die allgemeine Glei-

chung aufstellen für die Menge der Strahlen einer bestimmten Geschwindigkeit, die von einem Flächenelement der Strahlungsquelle ausgehen und ein bestimmtes Flächenelement der Trockenplatte treffen. Dann ist dieser Ausdruck zu integrieren über alle Flächenelemente der Strahlungsquelle, von denen Strahlen zu dem betreffenden Elemente der Trockenplatte gelangen. Dieser Ausdruck ist zu integrieren über alle in Betracht kommenden Geschwindigkeiten; die letztere Integration kann man freilich nur vornehmen, wenn man die Intensität der ursprünglich vorhandenen Strahlen als Funktion der Geschwindigkeit kennt; das erfordert die Aufnahme des magnetischen Spektrums der Strahlungsquelle. Endlich ist die so gewonnene Intensität für die verschiedenen Punkte der Platte zu berechnen und die Intensitätskurve zu konstruieren. Diese Intensitätskurve ist, falls es sich um ein größeres Geschwindigkeitsbereich handelt, sehr stark *unsymmetrisch*, und verläuft außerdem bei verschieden starker Ablenkung und verschieden starken Intensitätsverhältnissen der ursprünglichen Strahlung sehr verschieden, so daß nicht exakt zu sagen ist, worauf man eigentlich bei der Ausmessung der Platte einstellt; daß wiederholte Einstellungen denselben Wert ergeben, besagt in dieser Hinsicht nichts.

Dazu kommt noch, daß Hr. Bucherer, wie gesagt, die Berechnung der Strahlen extremer Geschwindigkeit gar nicht für *seine* Versuche, sondern für einen *meiner* Versuche durchgeführt hat. Ich habe seinerzeit die Intensitätsverteilung für meine Versuche näherungsweise durchgerechnet und die Versuche so eingerichtet, daß bei meiner, von der Buchererschen etwas abweichenden Berechnungsweise das Resultat durch die erwähnte Fehlerquelle nicht wesentlich beeinträchtigt wurde. Da ich aus meinen Versuchen keine so weitgehenden Folgerungen gezogen habe wie Hr. Bucherer, brauche ich hierauf wohl nicht näher einzugehen. Wenn aber Hr. Bucherer glaubt, aus der Anwendung seiner Formeln auf *meine* Versuche irgend einen Schluß auf *seine* Versuche ziehen zu können, so ist auch das unrichtig. Ich habe nach seinen Formeln für einige seiner Versuche die extremen zur Beobachtung gelangenden Geschwindigkeiten und die zugehörigen Ablenkungen berechnet. In der folgenden Tabelle ist β_0 die Geschwindig-

keit (Geschwindigkeitskomponente) der kompensierten Strahlen, β_1 , β_2 diejenige der schnellsten und langsamsten, z die gemessene Ablenkung des Gesamtstrahlenbündels auf der photographischen Platte, Δz_1 , Δz_2 die Abweichungen der Auftreffstelle der Strahlen extremer Geschwindigkeit von diesem Wert z .

Nummer des Versuches	β_0 β_1 β_2	Geschw.- Differenz in % von β_0	z (mm)	Δz_1 Δz_2 (mm)
Be, 4, ber. von Bucherer	0,322		22,15	
	0,292	- 9,3		+ 0,09
	0,374	+ 11,6		- 1,13
Be, 4 richtig ber.	0,3165		22,67	
	0,2871	- 9,3		+ 0,13 = + 0,6 %
	0,3653	+ 11,5		- 0,99 = - 4,4
Bu, 10 und 11	0,3173		16,37	
	0,298	- 6,1		+ 0,23 = + 1,4 %
	0,343	+ 8,1		- 0,37 = - 2,3
Bu, 13	0,5154		10,18	
	0,472	- 8,4		+ 0,23 = + 2,3 %
	0,587	+ 13,9		- 0,71 = - 7,0
Bu, 3	0,6370		6,23	
	0,608	- 11,5		+ 0,45 = + 7,2 %
	1	+ 45,6		- 6,23 = - 100,0

Diese Tabelle zeigt 1., daß die Diskussionsbemerkung¹⁾ Hrn. Bucherers, bei seinen Versuchen lägen die Verhältnisse günstiger als bei mir, der Begründung entbehrt. Sie zeigt 2., daß die Verhältnisse bei den verschiedenen Versuchen verschieden sind, und daß man im allgemeinen nicht von einem Versuch auf einen anderen schließen kann. Da das gesamte Strahlenbündel nur unendlich wenige kompensierte Strahlen enthält, zur kleineren Hälfte aus langsameren, zur größeren aus schnelleren Strahlen besteht, so ist es natürlich unmöglich, große Abweichungen in der letzten Kolonne dieser Tabelle

1) A. H. Bucherer, Physik. Zeitschr. 9. p. 760. 1908.

damit abzutun, daß man sagt, die eine oder andere Strahlenhälfte verteilt sich auf eine so große Fläche, daß ihre photographische Wirksamkeit vernachlässigt werden kann.¹⁾

Versuch Nr. 3.

Bei Versuch Nr. 3 ist die Geschwindigkeit der die Trockenplatte treffenden Strahlen nach oben zu *überhaupt nicht begrenzt*; die Intensitätsverteilung ist hierbei ähnlich wie auf der Reproduktion der Kurve von Versuch Nr. 15 an den Stellen jenseits der beiden Unterbrechungen. Ein Intensitätsminimum liegt in der Gegend von $\beta = 0,86$; die langsamsten Strahlen weichen von der Auftreffstelle der mittleren kompensierten Strahlen um $+0,45$ mm ab.

Es ist nun interessant, welche Abweichung von dem gemessenen Wert der Ablenkung unter Zugrundelegung der Abrahamschen Theorie Übereinstimmung zwischen Versuch 3 und dem Mittel der übrigen Versuche herbeiführen würde. Diese Abweichung beträgt $0,32$ mm. Hierbei ist vorausgesetzt, daß in allen sonstigen Messungen kein nennenswerter Fehler vorgekommen ist.

Bezüglich der Intensität der Strahlungsquelle findet sich die Angabe, daß für $\beta = 0,7$ $4\frac{1}{2}$ Stunden Expositionszeit genügten, während für $\beta = 0,32$ mindestens 60 Stunden erforderlich waren.²⁾ Danach mag die photographische Intensität der ersteren Strahlen schätzungsweise 8—10 mal größer gewesen sein als die der letzteren. Bedenkt man diese erhebliche Verschiedenheit der Intensität und die große theoretische Breite des Spaltbildes, so scheint mir eine Verschiebung des photographischen Maximums bzw. Schwerpunkts um $0,32$ mm wohl möglich. *Sowie man aber bei diesem einen Versuch mit dieser Möglichkeit rechnen muß, ist die ganze Beweisführung hinfällig.*

Unsymmetrie der Mittellinie.

Aus den Angaben ist nicht ersichtlich, ob Versuch 3 ein Doppelversuch mit Kommutierung der Ablenkung war, wie Versuch 15, oder ein einseitiger, wie Versuch 7.

1) A. H. Bucherer, Ann. d. Phys. 28. p. 531. 1909.

2) A. H. Bucherer, Ann. d. Phys. 28. p. 520. 1909.

Betrachtet man die Reproduktion des letzteren, so bemerkt man eine nicht geringe Unsymmetrie der Mittellinie. Inwieweit diese bei der Reproduktion entstanden ist, vermag ich natürlich nicht zu beurteilen; jedenfalls erinnere ich mich, auf einer der Originalkurven eine noch ausgeprägtere Unsymmetrie gesehen zu haben. Auch aus theoretischen Gründen muß diese Unsymmetrie vorhanden sein, hervorgerufen durch schnelle β -Strahlen einerseits, durch α -Strahlen andererseits. Solche Unsymmetrien der Mittellinie bedingen natürlich eine neue Fehlerquelle für die Messung der Ablenkung.

Schluß.

Nach alledem vermag ich in den Versuchen des Hrn. Bucherer einen *Beweis* für die Gültigkeit der Relativitätstheorie nicht zu erblicken. Für diese letztere an sich sprechen ja die Ergebnisse der Optik bewegter Medien. *Ein Beweis durch Bestimmung der Geschwindigkeitsfunktion der Elektronenmasse aber hat eine größere Anzahl von Versuchen, eine engere Auswahl der im einzelnen Versuch registrierten Geschwindigkeiten und ausführliche protokollarische Veröffentlichung mit eingehender Fehlerdiskussion zur Voraussetzung.* Dabei ist nicht zu übersehen, daß es sich in letzter Linie nicht darum handelt, zu zeigen, daß die eine der beiden Theorien mit den Versuchen unverträglich ist, sondern die besagte Geschwindigkeitsfunktion möglichst genau zu ermitteln, und festzustellen, ob und *innerhalb welcher Fehlergrenzen* sie mit einer der Theorien übereinstimmt.

Göttingen, Physik. Inst. d. Univ., 20. Juni 1909.

(Eingegangen 22. Juni 1909.)
