

Bemerkungen zu vorstehendem Aufsätze.

Von

W. Wundt.

Da die obigen Ausführungen im wesentlichen nur den von Cattell in seiner ersten Arbeit in dem »*Americ. Journal of Psych.*« gegen meine Angabe über die Genauigkeit des Chronographen erhobenen Einwand wiederholen, so kann ich mich meinerseits auf einige ergänzende Bemerkungen zu meiner Notiz in Bd. VIII, S. 653 dieser Studien beschränken.

Wenn man mittelst eines Luftthermometers, welches den zwanzigsten Theil eines Grades Celsius zu messen gestattet, ein Quecksilberthermometer *A* graduirt, an dem man nur noch halbe Grade abzulesen vermag, und dieses Thermometer *A* nun benutzt, um die Eintheilung eines zweiten ähnlichen Quecksilberthermometers *B* zu corrigiren, so wird man diese Correctur als hinreichend zuverlässig betrachten können, wenn die Abweichungen der Ablesungen an *A* und *B* nicht wesentlich größer sind als die durchschnittlichen Abweichungen zwischen *A* und dem zur Graduierung benutzten Luftthermometer selbst. Man darf aber daraus, dass diese Bedingung unter günstigen Umständen zutrifft, nicht schließen, dass auch das Luftthermometer nur einen halben Grad Celsius mit Genauigkeit zu messen gestatte. Genau diesen Fehler begeht Cattell, indem er den Controlhammer, dessen Zeitwerthe mittelst des Chronographen bestimmt worden sind, benützen will, um mit seiner Hülfe wieder die Genauigkeit der Zeitwerthe des Chronographen zu prüfen.

Er glaubt zu diesem Zweck den bekannten Satz der Wahrscheinlichkeitstheorie anwenden zu können, nach welchem der resultirende Fehler einer Beobachtung gleich der Summe der Quadratwurzeln der einzelnen Fehler ist, aus denen er sich zusammensetzt. Indem er die mittleren Variationen der Beobachtungen bei der Prüfung des Controlhammers am Chronographen einerseits und diejenigen bei der Prüfung des Chronoskops mit dem Controlhammer andererseits als solche Beobachtungsfehler ansieht, bildet er zwei Gleichungen mit drei Unbekannten, aus denen sich, da die eine dieser Unbekannten, nämlich der Fehler des Controlhammers, in jeder Gleichung vorkommt, wenigstens die relative Größe der beiden andern Fehler soll ermitteln lassen. Aber jener Satz der Wahrscheinlichkeitstheorie ist nur auf von einander unabhängige Beobachtungsfehler anwendbar, die sämtlich ebenso gut positiv wie negativ sein können, nicht auf Schwankungen der Beobachtungen, die irgendwie von einander abhängig sind, und in die irgend welche constante Fehler eingehen. Dies ist nun gerade bei allen hier in Rede stehenden Beobachtungen der Fall. Die Schwankungen der Chronoskopzeiten sind abhängig von den Schwankungen in der Einstellung des Controlhammers und seiner Auslösungsapparate. Denn die Abweichungen des Chronoskops rühren wesentlich her von der Zeit der Durchströmung seiner Elektromagnete; die Schwankungen in der Größe dieser Zeit sind aber unmittelbar abhängig von den Schwankungen, welche in der Auslösung der beiden Contactapparate des Controlhammers stattfinden. Die Mittel sowohl der Chronoskop- wie der Controlhammerzeiten sind ferner nicht die wahren Zeitwerthe, sondern sie sind mit einem constanten Fehler von wechselnder Größe behaftet, und die mittleren Variationen dieser Zeiten sind demnach auch nicht reine variable Fehler, sondern es gilt für sie genau das, was Cattell von den von Lange bestimmten wahrscheinlichen Fehlern des Chronographen behauptet: sie sind nicht die mittleren Variationen in der Bestimmung der absoluten Zeit selber, sondern sie sind die Mittelwerthe der Schwankungen in der Bestimmung einer von der absoluten Zeit um einen constanten, je nach den Versuchsbedingungen größeren oder kleineren, positiven oder negativen Betrag abweichenden Fehlzeit, und die Bedingung, dass sie gleich große positive und negative Werthe

annehmen können, ist bei ihnen durchaus nicht erfüllt. Dem gegenüber bietet der Chronograph den Vortheil dar, dass sich bei ihm durch die Anwendung des mit ihm verbundenen Controlapparates, namentlich wenn man sich wechselnder Richtung der Ströme und wechselnder Anwendung der Electromagnete bedient, der constante Fehler vollständig eliminiren lässt, so dass nur noch Ablesungsfehler, die ebenso gut positiv wie negativ sein können, zurückbleiben, sofern man, was in diesem Fall gestattet ist, eine absolute Genauigkeit der Stimmgabelschwingungen annimmt, d. h. die wirklichen Abweichungen derselben als verschwindend klein voraussetzt. In Wahrheit ist also das Verhältniss das umgekehrte von dem, welches Cattell annimmt. Beim Chronographen handelt es sich, nachdem in der angedeuteten Weise die constanten Fehler eliminirt sind, nur noch um reine variable Ablesungsfehler. Beim Controlhammer und Chronoskop dagegen bleiben stets constante Fehler bestehen, und die mittleren Variationen sind hauptsächlich von den in den einzelnen Versuchen vorhandenen Schwankungen im Betrag dieser Fehler abhängig. Eben dieser Umstand ist es, der in allen Fällen eine Correctur der Chronoskop- und der Controlhammerzeiten mit dem Chronographen oder mit einem andern ihm ähnlichen, absolute Zeitangaben verbürgenden Instrumente erforderlich macht. Bei dem Chronoskop resultirt jener constante Fehler, abgesehen von der an sich vermeidbaren Unsicherheit in der Stimmung der schwingenden Feder, aus der Verschiedenheit der Anziehungs- und Abreißungszeit des Elektromagnetankers, bez. aus dem verschiedenen Verlauf der Remanenz- und der Wachsthumscurve des Magnetismus¹⁾, bei dem Controlhammer aus der Verzögerung des Falls durch die Controlapparate, namentlich den oberen²⁾. Aus den Schwankungen in dem Betrag dieser constanten Fehler, von denen der des Controlhammers überhaupt unvermeidbar ist, der des Chronoskops aber nur in dem in voller Strenge idealen Fall eines vollkommen symmetrischen Verlaufs jener beiden Curven verschwindet, resultirt wesentlich die mittlere Variation der Beobachtungen.

1) Külpe und Kirschmann, Phil. Stud. VIII, S. 152.

2) Phil. Stud. VIII, S. 166 ff.

Aus allem diesem erhellt, dass es unzulässig ist, in der von Cattell versuchten Weise mittelst Controlhammer und Chronoskop die Genauigkeit des Chronographen prüfen zu wollen, sondern dass hierzu directe Controlversuche an diesem Instrumente selbst erforderlich sind, wozu insbesondere die zur Elimination des constanten Fehlers dienenden Versuche mit dem für den Chronographen bestimmten Controlapparat gehören. Wenn übrigens Cattell der Meinung ist, dass die Correctur dieses Fehlers nur für Zeiten von 10σ gelte, und dass der Fehler mit der Vergrößerung der Zeiten wachsen würde, so ist das ein Irrthum. Bei einer gewöhnlichen Uhr trifft es ja allerdings zu, dass, wenn sie in einer Stunde um 1 Sec. vor- oder nachgeht, der Fehler in 10 Stunden 10 Sec. betragen wird. Bei dem Chronographen entspringt aber der Fehler nur aus der Registrirbewegung der Ankerhebel, und diese ist bei großen Zeiten dieselbe wie bei kleinen Zeiten. Den Zeitwerth von 10σ (10 einfachen Stimmgabelschwingungen) hat darum auch Lange nur benutzt, um aus der ihm entsprechenden Raumgröße den Zeitwerth des constanten Registrirfehlers zu berechnen¹⁾; der Registrirfehler selbst ist aber von diesem willkürlich gewählten Maßstab ganz unabhängig. Absolute Genauigkeit der Stimmgabelschwingungen und genaue Zählung derselben vorausgesetzt, ist demnach der absolute Betrag desselben bei 100σ durchaus nicht größer als bei 10σ . Bei allen Versuchen, bei denen man sich, wie z. B. bei denjenigen von Külpe über die Gleichzeitigkeit und Ungleichzeitigkeit von Bewegungen (Phil. Stud. VI, S. 514), nur des Chronographen zur Zeitmessung bedient, kommt natürlich nur dieser auf die angegebene Weise zu eliminirende Fehler des Chronographen selbst in Betracht.

Auf die Bemerkungen Cattell's über die Vorzüge und Nachtheile der verschiedenen Controlapparate zum Chronoskop näher einzugehen, finde ich keine Veranlassung. Ich kann in dieser Beziehung auf die Arbeit von Külpe und Kirschmann verweisen²⁾. Der Bemerkung, dass man zur Bestimmung der Fallzeiten eines Fallschirms

1) Lange, a. a. O. S. 469.

2) Das von Külpe und Kirschmann geprüfte Cattell'sche Fallechronometer ist übrigens, so viel ich weiß, von Herrn C. Krille zwar für Amerika, aber nicht für Herrn Cattell selbst angefertigt worden.

des Chronographen nicht bedürfe, kann ich jedoch nur unter einer Voraussetzung zustimmen, unter der sie auch für den von uns benutzten Controlhammer gilt: falls man nämlich auf anderem Wege, nicht etwa bloß durch die Berechnung der theoretischen Fallzeiten für den luftleeren Raum und für reibungslos fallende Körper, eine genaue Bestimmung der Zeiten ausführt. Das einfachste und sicherste Mittel hierzu besteht in den Schwingungen einer Stimmgabel, die man bei allen den Instrumenten, die sich irgendwie modificirter Fallbewegungen bedienen, auch direct auf einer an dem fallenden Apparat angebrachten Platte kann aufzeichnen lassen. In der That ist ja die Controle mit dem Chronographen nichts anderes als eine Controle mittelst Stimmgabelschwingungen; nur dass hier wegen der vollkommeneren Einrichtungen zur Vermeidung der Ablesungsfehler und wegen der sehr viel größeren Geschwindigkeit, die sich der Trommel des Chronographen im Vergleich mit den zur directen Controle des Chronoskops benutzbaren Fallapparaten geben lässt, die Angaben genauere sind.

Mit diesen Bemerkungen glaube ich die Discussion über diesen Gegenstand in den Studien um so mehr schließen zu können, als die mehrfach citirten Arbeiten von L. Lange über den Chronographen und von Külpe und Kirschmann über die Controle des Chronoskops über alle etwa noch in Frage kommenden Punkte hinreichende Auskunft geben.
