

können wir mit genügender Annäherung auf dem ganzen Wege als gleichförmig betrachten. Da die Reibung immer bremsend wirkt, so wird das tatsächliche Moment eines frei schwingenden Pendels nicht durch die Gerade GH , sondern die unterhalb parallel zu ihr verlaufende Gerade G_1H_1 dargestellt. Das Moment am Ende der Schwingung kann nicht größer sein als am Anfang, d. h. $H_1 \alpha_{01}$ muß gleich $G_1 \alpha_0$ sein. So drückt sich die selbstverständliche Tatsache, daß α_{01} kleiner sein muß als α_0 , in unserer Abbildung aus. Die Reibung verursacht eine Verringerung der Schwingungsweite. Um die Frage zu klären, ob die Reibung auch einen Einfluß auf die Schwingungsdauer hat, denken wir uns die stetige Wirkung der Reibung aufgelöst in eine Reihe von Stößen, etwa in der Art, daß wir die Fläche $GG_1H_1H_2$,

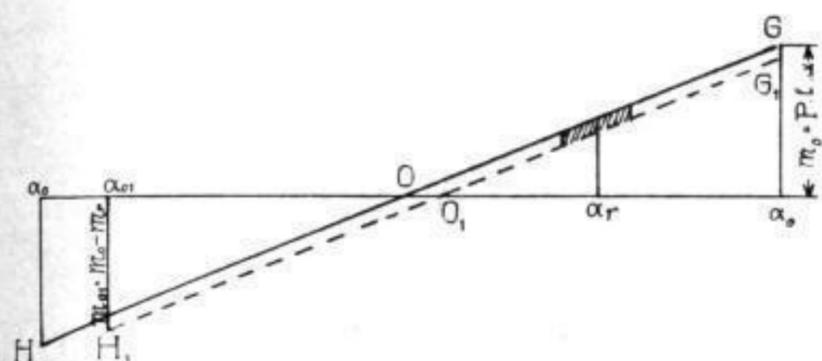


Abb. 65

die die Reibungsarbeit darstellt, durch senkrechte Geraden in eine Anzahl gleich großer Stücke zerschnitten denken und diesen kleinen Arbeitsbetrag durch einen Momentanstoß in der Elongation α_r des Schwerpunktes der kleinen Fläche ersetzt denken, wie dies in der Abb. 65 für eins der Teilchen angedeutet ist. Die aufeinanderfolgenden Stöße verkleinern die Schwingungsweite. Wenn wir wieder unseren Vergleich der schwingenden Bewegung mit der Umlaufbewegung auf-

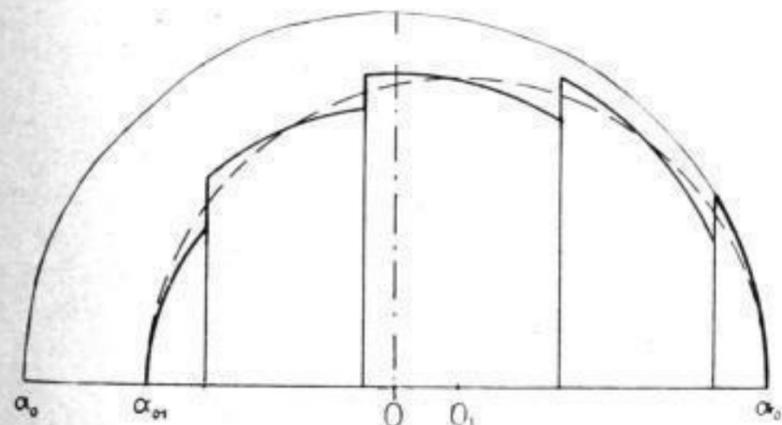


Abb. 66

nehmen, so würde Abb. 66 die Verhältnisse darstellen. Würden wir von den hier angenommenen vier Stößen zu einer größeren Zahl kleiner Stöße übergehen, so würde der aus Kreisbögen und Sprungstellen zusammengesetzte Linienzug in eine stetige Kurve übergehen, und zwar in eine Spirallinie (je nach den gemachten Voraussetzungen eine archimedische oder eine logarithmische). Diese Spirallinie kann genügend genau angenähert werden durch einen Halbkreis um O_1 . Auf diesem Halbkreise können wir uns den Vergleichskörper mit mittlerer Geschwindigkeit gleichförmig umlaufen denken. Wir können also mit genügend genauer Annäherung annehmen, daß durch die Reibung, wie wir sie erklärt haben, die Schwingungsdauer nicht beeinflusst wird. Es wird nur die Schwingungsweite von α_0 auf α_{01} verkleinert und die Mittellage rückt von O nach O_1 . Würden wir aber die Reibung abhängig von der Ge-

schwindigkeit annehmen, so würde sie nicht ohne Einfluß auf die Schwingungsdauer sein.

Die dauernde Entziehung von Energie durch die Reibungsarbeit würde schließlich das Pendel zum Stillstand bringen. Um dies zu verhindern, müssen wir dem Pendel wieder Energie zuführen. Das geschieht durch die Hemmung. Die meisten Hemmungen führen die Energie stoßähnlich als Bewegungsenergie zu. Könnte man diese Energie in Form eines reinen Momentanstoßes übertragen, so würde man diesen Stoß genau in die Mittellage bringen. Dann würde nach Satz 1 am Schlusse des Abschnittes 13b der Stoß ohne Wirkung auf die Schwingungsdauer bleiben.

Nun erfordert aber jede Energieübertragung einen — wenn auch kleinen — Weg. Das Momentendiagramm einer freien Hemmung würde etwa die Form von Abb. 67 an-

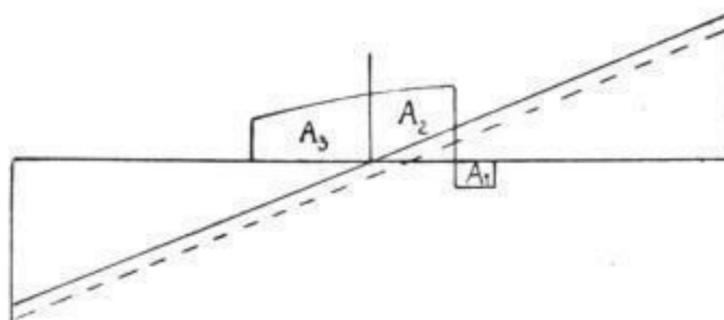


Abb. 67

nehmen. Über das Diagramm der Abb. 65 lagert sich ein zweites, das der Hemmung. Zuerst wird dem Pendel die Auslösungsarbeit A_1 entzogen und dann die Hemmungsarbeit A_2 und A_3 zugeführt. Soll diese Arbeitszufuhr die Schwingungsdauer nicht beeinflussen, so muß ihr Diagramm so auf dem Schwingungswege verschoben werden, daß der verzögernde Einfluß von A_1 und A_3 ausgeglichen wird durch den beschleunigenden Einfluß von A_2 . Dies ist verhältnismäßig leicht zu erreichen bei einseitig wirkenden Hemmungen, wie der Chronometerhemmung oder auch bei der Schwerkrafthemmung mit getrennten Ankerklauen (Tiede, Görß); es ist aber kaum zu erreichen bei doppelseitig wirkenden Hemmungen, wie es die meisten sind. Bei diesen überragt im allgemeinen der verzögernde Einfluß von A_1 und A_3 . Je kleiner nun die Schwingungsweite wird, um so stärker macht sich dieser verzögernde Einfluß bemerkbar. Die Hemmung bewirkt meist ein Nachgehen in den kleinen Schwingungen.

Da nun das freie Pendel wegen der Abweichung von der Zykloidenbahn in den kleinen Schwingungen vorgeht, so ist der Fall denkbar, daß die beiden Wirkungen einander aufheben, das Pendel mit Hemmung also isochron schwingt. Ähnliche Überlegungen haben wohl Ferdinand Berthoud und später Rozé veranlaßt, ihren „isochronischen Anker“ einzuführen, bei dem die Ruhefläche nicht genau zylindrisch war, sondern eine geringe Rückführung des Steigrades hervorrief.

Den Einfluß der verschiedenen Hemmungen auf den Isochronismus des Pendels zu untersuchen, würde hier zu weit führen. Wir mußten uns darauf beschränken, die Grundlagen für solche Untersuchungen klarzulegen.

Noch eins müssen wir erwähnen. Nicht alle Hemmungen übertragen die Energie stoßförmig, also als Bewegungsenergie. Die Riefler- und die Strasser-Hemmung erreichen die Energierzufuhr dadurch, daß sie, wenn das Pendel auf der rechten Seite schwingt, die Mittellage nach links verschieben und umgekehrt. Dadurch ändern sich die Verhältnisse von Grund aus. Würde man die Verbiegung der Pendelfeder, die die Verschiebung der Mittellage hervorruft, beim Durchgang des Pendels durch