

andern mechanischen Gesetzen, wie dies der Fall ist, wenn man die Reibungswiderstände ganz allein von den Normaldrücken abhängig macht.

Das Vorhandensein der Widerstände der Reibung ist nicht durch die Voraussetzungen herzuleiten, die wir ganz allgemein über die Wirkung der Kräfte aufgestellt haben; es ist uns nur durch die Erfahrung bekannt. Die Gröfse dieser Widerstände, und die Gesetze ihrer Abhängigkeit sind daher nur durch die Erfahrung festzustellen. Sobald wir aber diese Gesetze kennen, d. h. sobald wir die Gröfse und Eigenschaften dieser Kräfte selbst kennen, werden wir sie den allgemein festgestellten Gesetzen über die Wirkung der Kräfte vollständig unterwerfen können.

Die wichtigsten Versuche über die Reibung sind von Amon-tons, Coulomb, Vince, G. Rennie, N. Wood, und zuletzt von Mo-rin angestellt worden. Alle diese Versuche haben einen Unterschied in der Reibung herausgestellt, zwischen dem Fall, wo längere Zeit dieselben Punkte beider Systeme in Berührung waren, und es darauf ankam die Verschiebung zu beginnen, und dem Fall, wo die Verschiebung bereits eingetreten war, und fortgesetzt werden sollte. Den ersten Fall bezeichnet man als die Reibung der Ruhe, und den andern als die Reibung der Bewegung.

Die Gesetze der Reibung sind sämmtlich unter folgenden Voraussetzungen ermittelt worden, und gelten folglich auch nur unter diesen Voraussetzungen:

- a) dafs die Oberflächen der sich berührenden festen Systeme (Körper) einen gewissen Grad von Glätte und Regelmäfsigkeit besitzen;
- b) dafs die Körper sich durch die Bewegung selbst nicht beträchtlich erwärmen;
- c) dafs die Oberflächen der Körper durch die Bewegung keine irgend merkliche Abnutzung und Formveränderung erleiden.

Erfahrungsergebnisse über die Reibung des Gleitens.

§ 95. Die von Morin gemachten Versuche (§ 93. und 94.) über die Reibung des Gleitens (gleitende Reibung) haben folgende Gesetze theils bestätigt, theils herausgestellt:

- 1) Beziehung zwischen der Reibung der Ruhe und der Reibung der Bewegung.

Die gleitende Reibung der Ruhe ist denselben Gesetzen unterworfen, wie die Reibung der Bewegung, sie ist aber in den

meisten praktischen Fällen mit viel geringerer Sicherheit zu bestimmen. Unter denselben Umständen ist die Reibung der Ruhe gröfser, als die Reibung der Bewegung. Jene Unsicherheiten werden für die Praxis in vielen Fällen wenig erheblich durch die Beobachtung Morins, dafs eine geringe Erschütterung der Berührungspunkte des einen Systems, also ein sehr geringer Stofs, im Stande ist, die Reibung der Ruhe in diejenige der Bewegung umzuwandeln. Diese Bemerkung veranlafst, dafs man bei allen Konstruktionen, bei welchen die Reibung vermöge ihres Widerstandes die Stabilität mit bewirkt, und bei denen Erschütterungen zu befürchten sind, die Reibung der Bewegung in die Rechnung einführen mufs.

2) Beziehung zwischen dem Reibungswiderstande und dem Reibung erzeugenden Druck.

Der Werth der gleitenden Reibung ist proportional dem Reibung erzeugenden Druck zwischen beiden Systemen. Das Verhältnifs zwischen dem Werth der Reibung Θ und dem Reibung erzeugenden Druck N nennt man den Reibungs-Koeffizienten; wir bezeichnen künftig den Reibungs-Koeffizienten stets mit μ , und es ist:

$$163) \quad \begin{cases} \mu = \frac{\Theta}{N} \\ \Theta = \mu \cdot N. \end{cases}$$

3) Beziehung zwischen dem Reibungs-Koeffizienten und der Anzahl der Berührungspunkte.

Der Reibungs-Koeffizient ist unabhängig von der Anzahl der Berührungspunkte, sobald sich der Reibung erzeugende Druck mit der Anzahl der Berührungspunkte nicht ändert. Dieses Gesetz erleidet jedoch eine Modifikation von der weiter unten die Rede sein wird, wenn die Zahl der Berührungspunkte (Gröfse der Reibungsfläche) im Verhältnifs zu dem Reibung erzeugenden Druck sehr klein, oder sehr grofs ist.

4) Beziehung zwischen dem Reibungs-Koeffizienten und dem Gesetz, nach welchem die Berührungspunkte aufeinander folgen.

Wenn die Berührungspunkte des einen Systems zwar fortwährend mit anderen Punkten des zweiten Systems in Berührung kommen, diese Punkte des zweiten Systems jedoch immer von Neuem und in einer stetigen Folge von den Punkten des ersten Systems in Anspruch genommen werden, wie dies bei der Drehung von Zapfen in Lagern der Fall ist, so ist der Reibungs-Koeffizient geringer, als

bei der gewöhnlichen gleitenden Reibung. Man nennt die Reibung unter den angedeuteten Verhältnissen „Zapfenreibung“; sie erscheint nur als besonderer Fall des drehenden Gleitens, nicht als eine besondere Art der Reibung.

5) Beziehung zwischen dem Reibungs-Koeffizienten und der Geschwindigkeit der Verschiebung.

Der Reibungs-Koeffizient ist unabhängig von der Geschwindigkeit, und so lange als konstant anzusehen, so lange der Reibung erzeugende Druck und die Beschaffenheit der Oberflächen sich nicht ändert.

6) Beziehung zwischen dem Reibungs-Koeffizienten und der Beschaffenheit der Oberflächen.

Der Reibungs-Koeffizient ist abhängig von der Natur des Materials, aus welchem das feste System besteht, er ist außerdem abhängig davon, ob eine schlüpfrige Substanz (Schmiere) zwischen den Berührungspunkten sich befindet, von welcher Art und Beschaffenheit diese Schmiere ist, und von der Menge, in welcher die Schmiere sich zwischen den Berührungspunkten befindet.

Hinsichtlich der Menge der Schmiere sind zwei Fälle zu unterscheiden: a) der Fall, wo die Berührungspunkte mit der Schmiere nur leicht abgerieben werden, und b) der Fall, wo in Folge einer größeren Menge und einer angemessenen Konsistenz der Schmiere sich fortwährend eine zusammenhängende Lage von Schmiere zwischen den Berührungspunkten der beiden Systeme befindet, so daß durch diese Zwischenlage die Berührungsflächen vollständig getrennt sind. Dieser Fall setzt voraus, daß der Reibung erzeugende Druck in jedem einzelnen Berührungspunkte hinreichend klein sei, um die Schmiere nicht herauszudrängen.

In dem unter a) gedachten Falle ist das Material, aus welchem jedes der beiden Systeme besteht, von wesentlichem Einfluß auf den Werth des Reibungs-Koeffizienten, und es folgen die Resultate der Morin'schen Versuche weiter unten.

In dem unter b) erwähnten Falle ist nach den Versuchen von Morin dagegen der Reibungs-Koeffizient viel mehr abhängig von der Natur der Schmiere, als von der Beschaffenheit des Materials. Morin erwähnt: daß wenn eine zusammenhängende Lage von Schweinefett oder Baumöl zwischen die Berührungsflächen gebracht wird, der Reibungs-Koeffizient einen ziemlich konstanten Werth zwischen 0,07 und 0,08 behält, gleichviel, ob die reibenden Materialien Holz und Metall, Holz und Holz, oder Metall und Metall sind.

Denselben Reibungs-Koeffizienten fand Morin auch für Talg-schmiere, mit Ausnahme des Falles, wo Eisen auf Eisen gleitet, wofür Morin den Reibungs-Koeffizienten im Mittel = 0,10 gefunden hat. Ausserdem empfiehlt Morin Talg, Seife und Graphit als die Schmierer, welche für Hölzer den geringsten Reibungs-Koeffizienten geben, wogegen Oel und Feuchtigkeit für Hölzer einen gröfsern Reibungs-Koeffizienten ergeben. Für Metalle geben Oel und Schweinefett den günstigsten Reibungs-Koeffizienten.

Unter den Resultaten, welche man hinsichtlich der Reibung von Flächen erhalten hat, zwischen denen durch die Zwischenlage einer fettigen Schicht eine vollkommene Trennung der Berührungspunkte bewirkt ist, herrscht nach dem Obigen eine grofse Uebereinstimmung; nicht so ist dies der Fall, wenn man verschiedene Grade der Fettigkeit, die zwischen den oben durch die Fälle a) und b) bezeichneten Grenzzuständen liegen, in Betracht zieht. Die Resultate der Untersuchungen weichen hier vielfach von einander ab, und Moseley *) meint, dafs dies weniger in dem verschiedenen Grade der Fettigkeit, als in dem verschiedenen Verhältnifs der Gröfse der reibenden Flächen zu dem Reibung erzeugenden Drucke, welcher bei den Versuchen obgewaltet hat, begründet sei, eine Ansicht, der wir vollkommen beistimmen. Denn es leuchtet ein, bemerkt Moseley, dafs einer jeden besonderen Art von Fett ein besonderer Druck auf die Flächeneinheit entsprechen mufs, bei welchem eine vollkommene Trennung der beiden Flächen durch die Zwischenlage einer zusammenhängenden Schicht dieses Fettes bewirkt wird, so dafs, wenn der Druck auf die Flächeneinheit jenen Werth überschreitet, die vollkommene Trennung nicht mehr erreicht werden kann, in welcher Fülle man auch die fettige Substanz verwenden mag. Der Druck auf die Flächeneinheit bei welchem noch eine Trennung der beiden Flächen durch die zwischenliegende Schicht des Fettes möglich ist, und der, wenn man ihn allmählich vergröfsert, ein allmähliches Herausdrängen der Schmiere zur Folge hat, ist offenbar von der Natur der Schmiere abhängig; es fehlen über die Bestimmung dieses Druckes noch die nöthigen Versuche, ebenso wie über die Werthe der Reibungs-Koeffizienten für verschiedene Abstufungen, in denen die Schmiere, durch Steigerung jenes Druck-

*) Die mechanischen Prinzipien der Ingenieurkunst und Architektur von Heinrich Moseley. Aus dem Englischen übersetzt und mit Erläuterungen versehen von H. Scheffler. I. S. 182.

kes allmählich herausgedrängt wird. Aber selbst wenn der Reibung erzeugende Druck noch kein Herausdrängen der Schmiere und dadurch eine Verminderung der Fettigkeit bedingt, ist es denkbar, daß bei einer sehr großen Ausdehnung der Berührungsflächen der Zusammenhang der einzelnen Elemente der schmierenden Substanz unter einander der Verschiebung auf eine merkliche Weise entgegenwirkt, und daher die Reibung vermehrt, so daß der Reibungs-Koeffizient bei demselben Reibung erzeugenden Drucke in diesem Falle mit der Berührungsfläche wachsen muß.

In den beiden eben genannten Fällen, nämlich, wenn der Druck auf die Flächeneinheit entweder so groß wird, daß er anfängt die Schmiere herauszudrücken, oder wenn der Druck auf die Flächeneinheit so gering ist, daß die Konsistenz der Schmiere einen merklichen Werth im Vergleich zu dem Reibung erzeugenden Drucke hat, erleidet hiernach das Gesetz No. 3 eine Modifikation. Es ist zu bemerken, daß Morin seine Versuche nur mit verhältnißmäßig geringer Belastung für die Flächeneinheit (etwa 14 bis 20 Pfund auf den Quadratzoll) angestellt hat; Versuche von G. Rennie zeigen, daß bei großen Belastungen auf die Flächeneinheit der Reibungs-Koeffizient der Ruhe wächst, und zwar so, daß er bis zu einer gewissen Grenze des Druckes konstant bleibt, dann aber sehr schnell mit dem Druck pro Flächeneinheit zunimmt. Die Resultate der Versuche von Rennie sind weiter unten zusammengestellt; sie zeigen, daß wenn der Normaldruck einen Werth erreicht, der sich demjenigen nähert, bei welchem die Flächen angegriffen werden, der Reibungs-Koeffizient bis über das Dreifache desjenigen wachsen kann, der bei geringem Drucke konstant ist.

Bestimmung des Reibung erzeugenden Druckes; und Vertheilung desselben.

§ 96. Nach § 95. No. 2 ist die Größe der Reibungswiderstände, die dem Gleiten des beweglichen Systems entgegenwirken, proportional den Reibung erzeugenden Drucke, und nach § 94. No. 3 sind die Reibung erzeugenden Drucke diejenigen Komponenten der auf das bewegliche System angebrachten Drucke, welche durch den Widerstand des fixen Systems aufgehoben werden.

Nach dem zweiten Grundsatz in § 94. muß die Resultirende aus den Komponenten sämtlicher Kräfte für jede Richtung, nach welcher kein Verschieben statt finden kann, durch den Widerstand des fixen Systems aufgehoben werden; es ist folglich