

## Ein einfacher Reibungsversuch

Von Prof. Dr.-Ing. H. Bock

Es muß wohl als Tatsache angesehen werden, daß der Wirkungsgrad der Zahngetriebe einer Uhr hinter den in der Großmaschinenteknik erreichten Werten zurückbleibt. Man vergleiche den Aufsatz in Nr. 29 der UHRMACHERKUNST. Zum Teil ist das wahrscheinlich eine Folge der relativ geringeren Genauigkeit der Uhrverzahnungen, die man ihrer Kleinheit wegen unmöglich so präzise herstellen kann wie etwa die Rißel (so nennt der Ingenieur die „Trieb“ der Uhrmacherei) einer Großkraftübertragung, bei denen man trotz ihrer Größe auch mit Tausendsteln des Millimeters rechnet. Dazu kommt aber die große Langsamkeit der Drehbewegungen in der Uhr, welche der Reibung besonders in der Nachbarschaft des Federhauses den Charakter der Ruhereibung verleiht, die bekanntlich nicht unerheblich größer ist als die bei schneller Bewegung. Bekannt ist jedem Lokomotivführer

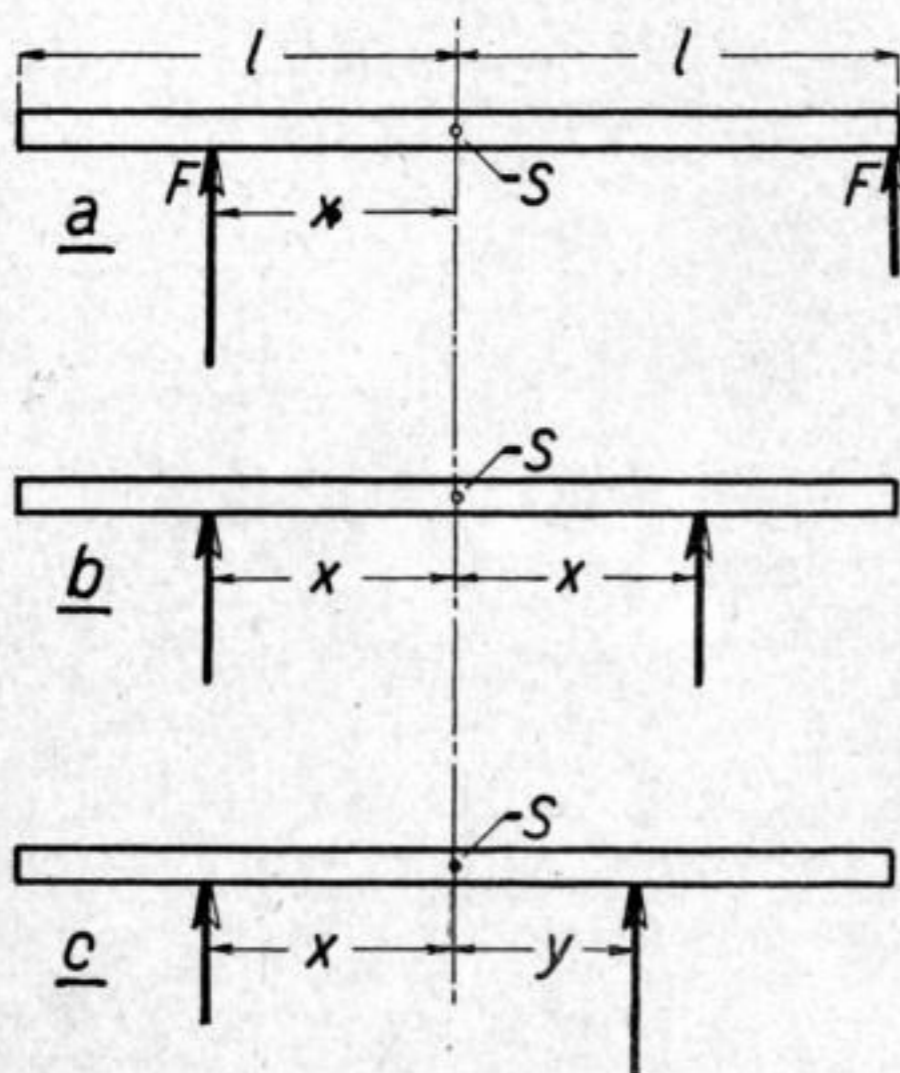


Abb. 1 a. b und c

die verhältnismäßig geringe Wirksamkeit der Bremsen bei hohen Geschwindigkeiten; die Eisenbahnfahrlaute geben z. B. als Reibungsziffer der Ruhe den Wert 0,34 an, der bei 60 km je Stunde bis auf 0,16 und bei 100 gar auf 0,12 sinken soll. Ein gutes Mittel zur Reibungsverminderung ist somit große Geschwindigkeit der übereinander weggleitenden Flächen oder Zahnprofile, ein Mittel, das freilich bei Uhrwerken nicht anwendbar ist.

Eine hinreichende „Erklärung“ für die überragende Größe der Ruhereibung gibt es wohl noch nicht, obschon Ansätze dazu vorliegen. Wohl aber kann man diese physikalische Tatsache durch einen verblüffend einfachen, lehrreichen Versuch nachprüfen, zu dem weiter nichts nötig ist als ein Lineal. Er soll im folgenden beschrieben werden; besonders für Fachschulen dürfte er von Wichtigkeit sein. Zuerst angegeben wurde er in einer Festschrift der Universität Würzburg vom Jahre 1882. Angestellt wird er in folgender Weise: Man strecke beide Zeigefinger F (siehe Abb. 1 a) waagrecht aus, bringe sie möglichst genau in gleicher Höhe und lege das Lineal so auf sie, wie es in Abb. 1 a zu sehen ist. Beide Finger

müssen möglichst gleich beschaffen sein, d. h. man darf nicht etwa den einen mit Öl und den anderen mit Syndelikon beschmieren. Wie man sieht, liegt das Lineal zuerst unsymmetrisch auf den Fingern, deren einer (hier der linke) der Mitte und somit dem Linealschwerpunkt S näher ist als der andere. Die Belastung der Finger ist daher verschieden groß, und zwar beträgt sie unter Berücksichtigung der in der Abbildung angegebenen Maße für den linken Finger  $\frac{l}{l+x} \cdot G$  und für den rechten etwas weniger, nämlich  $\frac{x}{l+x} \cdot G$ , worin G das Linealgewicht. Das ist jedem Kenner der einfachsten Grundsätze der Mechanik klar.

Nun nähere man die beiden Finger einander langsam und ohne plötzliche Rucke und Sorge dabei dafür, daß sie stets gleich hoch bleiben. Für das geschulte Fingergefühl und Augenmaß des Uhrmachers dürfte das ein leichtes sein. Sobald die Bewegung eintritt, wird zwischen Fingern und Stab die Reibung lebendig. Da der linke Finger stärker belastet ist, wie wir oben gesehen haben, so ist auch die Reibung unter ihm größer, und infolgedessen gleitet zunächst der rechte Finger unter dem Holzstabe, während der linke an derselben Stelle des Lineals verbleibt, wo er sich von Anfang an befunden hat. So geht es eine Zeilang weiter, bis schließlich die Lage erreicht ist, die durch Abb. 1 b wiedergegeben wird. Die gleichmäßige Annäherungsbewegung der beiden Zeigefinger darf aber hier keinesfalls unterbrochen werden, sondern muß unausgesetzt und stetig weitergehen. Man sollte nun der Meinung sein, von der Lage der Abb. 1 b ab müßten beide Finger unter dem Lineal gleiten, weil sie ja jetzt der Symmetrie wegen gleich stark belastet sind. Das ist aber, wie der Versuch sofort zeigt, nicht der Fall; vielmehr gleitet der rechte Finger nach wie vor weiter, obwohl seine Belastung offenbar jetzt größer ist als die des linken, weil er sich der Linealmitte näher befindet. Wie ist das zu deuten? Natürlich dahin, daß auch jetzt noch die Reibung unter dem linken Finger größer ist, obschon er die geringere Belastung zu tragen hat! Und wie ist das möglich? Stellt man sich doch sonst immer die Reibung als der Belastung proportional vor; das ist ja auch die Aussage des in der Technik allgemein und mit Erfolg angewandten Coulombschen Reibungsgesetzes. Aber man vergesse nicht, daß ja der linke Finger von Anfang an unter dem Stabe geruht hat, während der rechte stets in Bewegung gewesen ist; also herrscht unter dem linken Ruhereibung, die eben größer ist als die Gleitreibung unter dem rechten. Würde man das noch nicht, so erführe man es jetzt durch diesen einfachen, sinnfälligen Versuch.

Führt man die vorsichtige Näherungsbewegung der Finger aber immer weiter fort, so bemerkt man plötzlich, daß sich die Rolle der beiden Finger von einem bestimmten Augenblick an vertauscht. Mit anderen Worten: Auf einmal bleibt der rechte Finger unter dem Lineal stehen und der linke beginnt zu gleiten. Diese Lage ist in Abb. 1 c wiedergegeben. Sie ist offenbar durch folgenden Zusammenhang bestimmt: Sei  $f_0$  die Reibungsziffer der Ruhe und  $f$  die der Bewegung; von ihnen wissen wir schon aus unserem Experiment, daß  $f_0$  größer ist als  $f$ . Nun ist aber in Lage 1 c die Belastung des linken Fingers  $\frac{y}{x+y} \cdot G$  und die des rechten  $\frac{x}{x+y} \cdot G$ ; da links aber Ruhe und rechts Gleiten herrscht, so tritt