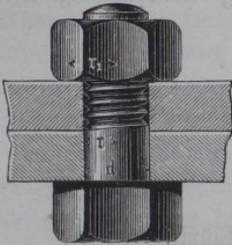


Nach der Whitworth'schen Scala ist für einen Bolzen von 1 engl. Zoll oder 25,4 Millimeter Spindeldurchmesser der Durchmesser des Kerns 0,75 Zoll = 19 Millimeter und die Ganghöhe $s = \frac{1}{8}$ Zoll = 3,2 Millimeter, daher der mittlere Halbmesser $r = 11,1$ Millimeter und das Verhältniß $n = \frac{3,2}{2 \cdot 3,14 \cdot 11,1} = 0,046$; ($\alpha = \text{arc. tang } 0,046 = 2^\circ 38'$). Nimmt man für die gewöhnlichen

Fig. 508.



Verhältnisse der sechskantigen Mutter, Fig. 508, den mittleren Halbmesser von deren Auflagerfläche $r_1 = 0,7d = 17,8$ Millimeter an und setzt den Halbmesser der Halsreibung $r = r_1 = 11,1$ Millimeter, so findet man bei dem Kantenwinkel $2\beta = 55^\circ$ die erforderliche Umdrehungskraft

$$P = Q \frac{r}{R - \varphi r} \left(\frac{n + 1,14 \mu}{1 - 1,14 n \mu} + \varphi \frac{r_1}{r} \right)$$

$$= 500 \frac{11,1}{200 - 0,16 \cdot 11,1} \left(\frac{0,046 + 1,14 \cdot 0,16}{1 - 1,14 \cdot 0,046 \cdot 0,16} + 0,16 \frac{17,8}{11,1} \right) = 28,0 (0,230 + 0,257) = 13,6 \text{ kg.}$$

Andererseits ist, um die Mutter wieder zu lösen, ein Druck erforderlich:

$$(P) = 500 \frac{11,1}{200 + 0,16 \cdot 11,1} \left(\frac{0,046 - 1,14 \cdot 0,16}{1 + 1,14 \cdot 0,046 \cdot 0,16} - 0,16 \frac{17,8}{11,1} \right)$$

$$= 27,5 (-0,135 - 0,257) = -10,78 \text{ Kilogramm.}$$

Ohne Reibungswiderstände würde nur erforderlich sein

$$P_0 = Q \frac{r}{R} n = 27,8 \cdot 0,046 = 1,28 \text{ Kilogramm,}$$

sodass der Wirkungsgrad für das Anschrauben sich zu

$$\eta = \frac{1,28}{13,6} = 0,094 \text{ oder noch nicht 10 Procent}$$

berechnet, während gegen das selbstthätige Losgehen der Mutter eine Sicherheit von $(\eta) = \frac{10,78}{1,28} = 8,42$ gegeben ist.

Gegenmütern. Die vorstehenden Untersuchungen haben u. A. auch §. 128. ergeben, daß die Schrauben in den gebräuchlicheren Ausführungen, d. h. wenn der Neigungswinkel α nicht sehr groß, oder die Gewinde nicht sehr steil sind, die Eigenschaft eines selbstthätigen Rückganges unter Einfluß der axial wirkenden Last Q im Allgemeinen nicht besitzen. Man kann in jedem einzelnen Falle das Steigungsverhältniß n für den Grenzzustand, in welchem eine selbstthätige Rückdrehung einzutreten beginnt, leicht finden, wenn man den Werth von (P) gleich Null setzt. Offenbar hängt die diesem Zustande zugehörige Größe von n nicht bloß von den Reibungswiderständen in den Gewinden, sondern wesentlich von der Zapfenreibung in der Stützfläche ab. Nur wenn man die letztere vernachlässigen darf, wie bei Schraubenspindeln, bei denen die Last an der Drehung Theil nehmen kann, darf die vielfach an-

gegebene Bedingung für diesen Grenzfall gelten, wonach für flache Schrauben aus

$$n - \mu = 0; \alpha = \text{arc. tang } \mu,$$

d. h. gleich dem Reibungswinkel, und bei scharfen Schrauben aus

$$n - \frac{\mu}{\cos \beta} = 0; \alpha = \text{arc. tang } \frac{\mu}{\cos \beta}$$

folgt.

In allen Fällen, wo die besagte Stützspitzenreibung beim Rückgange wirklich eintritt, ist dieser Grenzfall an die Bedingung

$$\frac{n - \mu}{1 + n\mu} = \varphi \frac{r_1}{r}$$

bei flachen Gewinden, und

$$\frac{n \cos \beta - \mu}{\cos \beta + n\mu} = \varphi \frac{r_1}{r}$$

bei scharfen Gewinden mit dem Kantewinkel 2β geknüpft.

Es ist in dem Obigen mehrfach erwähnt, daß die flachgängigen Schrauben meistens, und die scharfgängigen oder Befestigungsschrauben immer so kleine Gewindeneigungen haben, daß die Schrauben sich nicht von selbst durch den axialen Druck zurückdrehen können. Ein anderes Verhalten aber müssen die Schrauben zeigen, wenn sie gewissen Stoßwirkungen oder Erschütterungen ausgesetzt sind, wenigstens lehrt die Erfahrung, daß durch solche, wenn auch kleine, aber oft wiederholte Erschütterungen ein selbstthätiges Lösen der Schraubenmutter unvermeidlich herbeigeführt wird, falls man denselben nicht durch sogenannte Schraubensicherungen*) die Drehung verbietet. Von den mancherlei Mitteln, welche man zu diesem Zwecke vorgeschlagen und angewendet hat, soll hier nur das unter dem Namen der Gegenmuttern oder Contremuttern vielfach gebrauchte näher ins Auge gefaßt werden, welches einfach darin besteht, statt einer einzigen Mutter deren zwei auf einander anzuwenden. Denkt man sich, daß durch den Schraubenbolzen A zwei Theile B und C verbunden werden sollen, so genügt in denjenigen Fällen, in denen ein möglichst festes Anpressen der beiden Theile gestattet und die Verbindung nicht besonderen Erschütterungen ausgesetzt ist, die Anwendung einer einzigen Mutter D , indem nach dem Vorhergehenden die Reibung derselben so groß ist, daß bei keinem auch noch so großen axialen Drucke Q die Mutter sich rückwärts drehen kann. Ist aber die ganze Verbindung einer Erschütterung ausgesetzt, durch welche gewisse lebendige Kräfte auf die Massen der einzelnen Theile übertragen werden, so ist es leicht möglich, daß die auf solche Art durch Stoßwirkung auf die Mutter übertragene lebendige Kraft eine Drehung der Mutter zur Folge hat. Die einer solchen Stoßwirkung auf die Mutter entsprechende auf letztere übertragene Arbeit wird nämlich

*) S. u. A. Zeitschr. des Vereins deutsch. Ingen. Jahrg. 1871.

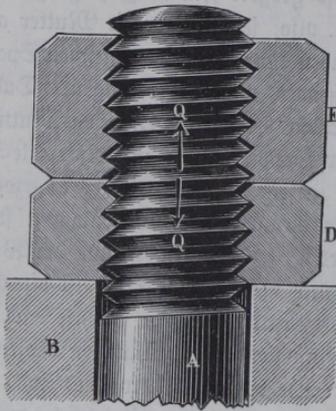
zunächst gewisse Elasticitätswirkungen, Zusammenpressungen oder Ausdehnungen in dem Materiale hervorbringen, wobei in letzterem entsprechende Spannungen hervorgerufen werden. Wenn nun diese Spannungen derartige geworden sind, daß die Resultirende aller derselben ein Drehungsmoment in Bezug auf die Axe der Schraube hat, welches dem Momente der Reibung der Mutter gleichkommt, so wird von dem Augenblicke an die weitere Einwirkung des Stoßes ein Nachgeben der Mutter zur Folge haben müssen. Wenn auch eine weitere Verfolgung dieses Vorganges sich jeder Rechnung entzieht, so dürfte doch in solcher Art der Vorgang erklärlich erscheinen, welchen die Praxis in so vielen Fällen zeigt, daß Müttern unter Einfluß wiederholter Stöße und Erschütterungen sich lösen, obschon sie dies bei dem größten ruhenden Drucke nicht vermögen. Es ist dabei ersichtlich, daß die einem solchen Stoße innewohnende Arbeit eine um so größere sein muß, je größer der Reibungswiderstand der Mutter ist, d. h. also, je kräftiger die Mutter angezogen wird, da eine Lösung nicht stattfinden kann, ehe die elastischen Spannungen ein diesem Widerstande entsprechendes Moment erlangen. Daher beschränken sich die Wirkungen kleinerer Stöße bei fest angezogenen Müttern meist nur auf die Hervorrufung elastischer Schwingungen im Materiale der Müttern. Wenn jedoch die Mutter nur in sehr mäßigem Grade angezogen werden darf, wie dies z. B. bei den Deckelschrauben von Wellenlagern stets der Fall ist, wo ein kräftiges Anziehen des Deckels die Umdrehung der Welle sehr erschweren, wenn nicht ganz unmöglich machen würde, so ist offenbar bei dem geringen Reibungswiderstande der Mutter diejenige Grenze bald erreicht, bei welcher das Moment der sich einstellenden Spannungen dasjenige des Reibungswiderstandes der Mutter übertrifft. Deswegen sind die Schraubensicherungen ganz besonders für solche Müttern erforderlich, welche wie bei Wellenlagern nur mäßige Pressungen auf ihre Unterlage ausüben dürfen, viel weniger häufig tritt ein Lösen bei den Müttern der eigentlichen Befestigungsbolzen ein, welche zur unwandelbaren Verbindung fester Gestelltheile zc. mit einander dienen und zu dem Ende mit einem kräftigen Drucke angezogen sind.

Doch kann auch in diesem letzteren Falle trotz der großen Mutterreibung durch verhältnißmäßig kleine Erschütterungen wohl ein Lösen der Mutter eintreten, sobald diese Erschütterungen sehr schnell auf einander folgen, wie beispielsweise das häufige Losrütteln der sehr stark angezogenen Lagerschrauben der Eisenbahnschienen zeigt. Es dürfte dieser Vorgang und der Einfluß der häufigen Wiederholung der Erschütterungen vielleicht in ähnlicher Weise zu erklären sein, in welcher man sich das Zerstörtwerden von Brückentheilen durch wiederholte kleine Erschütterungen, etwa durch im Tritt marschirende Truppen klar macht, also durch eine Summirung der regelmäßig auf einander folgenden kleinen Schwingungen. Daß solche kleine, aber häufig

wiederkehrende Erschütterungen unter Umständen sehr bedeutende Reibungswiderstände zu überwinden vermögen, dafür liefert u. A. der dem Techniker bekannte Fall einen interessanten Beweis, daß bei Ventilatoren, welche in der Minute wohl bis zu 2000 Umdrehungen machen, die Deckelschrauben der Lager trotz der angewandten Contremuttern sich oftmals lösen, so daß man hierbei zur Anwendung anderer durchaus unlösbarer Schraubensicherungen wie Keile, Stifte, Schlüssel zc. seine Zuflucht nehmen muß. Dagegen bieten die Gegenmuttern in den meisten sonstigen Fällen, in denen man es nicht mit so außerordentlichen Geschwindigkeiten zu thun hat, ein bequemes und genügendes Mittel der Sicherung.

Die Wirkung der Gegenmuttern ist leicht zu verstehen. Sei *A*, Fig. 509,

Fig. 509.



ein Schraubenbolzen, welcher etwa zur Festhaltung des Lagerdeckels *B* auf einem Axenlager dienen soll, so darf, wie erwähnt, die Mutter *D* nur mit mäßigem Drucke auf den Deckel *B* gepreßt werden, gerade genügend, um das Schlottern der Axe in dem Lager zu verhindern. In Folge dessen ist der Reibungswiderstand der Mutter natürlich ein nur geringer und die Gefahr eines Losgehens der Mutter durch Stöße eine erhebliche. Diese Gefahr herabzuziehen, kann man die Reibung der Mutter *D* in den Gewinden wesentlich vergrößern dadurch, daß man die zweite oder Gegenmutter

E auf den Bolzen schraubt, und dieselbe, unter Festhaltung der unteren Mutter *D*, so fest auf diese herabschraubt, als mit der Festigkeit des Bolzens vereinbar ist. Es dient auf diese Weise gewissermaßen die obere Mutter als Druckvorrichtung, welche einen gewissen Druck *Q* auf die untere äußert, mit welchem gleichen und entgegengesetzten Drucke die untere Mutter natürlich auf die obere zurückwirkt. Diese beiden Kräfte *Q* werden zwar durch den Schraubenbolzen *A* vermittelt, aber nicht auf den Lagerdeckel *B* übertragen, vielmehr wird der Bolzen nur in dem von den Muttern umschlossenen Stücke durch die Kraft *Q* auf Zug beansprucht. Es ist auch ersichtlich, daß bei dieser Anordnung die untere Mutter *D* auf die oberen Flächen und die obere Mutter *E* gegen die unteren Flächen der Bolzengewinde drücken wird, wie in der Figur durch die Schraffirung angedeutet ist. Stellt man sich nun vor, daß auf die untere Mutter durch Erschütterung des Lagerdeckels ein auf Lösung wirkender Impuls ausgeübt werde, so ist es klar, daß die obere Mutter an

einer solchen Rückdrehung Theil nehmen müßte, und es wäre dabei der Reibungswiderstand in den Gewindegängen beider Müttern zu überwinden. Hierdurch ist die Wirkung der Contremüttern erklärt. Wie groß dieser Reibungswiderstand der beiden Gegenmüttern gemacht werden kann, davon giebt die bekannte Thatsache eine Vorstellung, wonach man einen Schraubenbolzen, dessen Kopf fest in den Schraubstock gespannt wird, mit Hülfe von zwei fest zusammengepreßten Gegenmüttern, über welche gemeinschaftlich ein Schlüssel gesteckt wird, mit leichter Mühe abwürgen kann, ein Beweis, daß das Moment der Reibungswiderstände in solchem Falle die Torsionsfestigkeit übersteigt. Die Arbeiter bedienen sich dieses Mittels häufig zum festen Einschrauben cylindrischer Schraubensäfte, welche einen prismatischen Kopf zum Ansetzen des Schlüssels nicht darbieten. Es ist klar, daß es zum Lösen der Contremüttern nur eines einzigen rückweisen Angriffes auf die obere Mutter allein bedarf, wonach jede einzelne Mutter sich leicht bewegen läßt.

Auf einen Umstand von einigem Interesse mag hier noch aufmerksam gemacht werden. Häufig findet man in der Praxis bei Anwendung von Contremüttern die beiden Müttern in verschiedener Höhe in der Aenrichtung ausgeführt. Eine bestimmte Höhe hat man einer Mutter hauptsächlich mit Rücksicht auf die Abscheerungsfestigkeit ihrer Gewindegänge zu geben (s. §. 132 über die Dimensionen). Es ist nun aus der Figur zu erkennen, daß ein von dem festgeschraubten Theile *B* (Lagerdeckel oder Lasche) nach oben ausgeübter Druck *P* die untere Mutter zunächst entlastet, da dieser Druck bestrebt ist, die Mutter mit den oberen Flächen ihrer Gewinde gegen die unteren Flächen der Schraubengewinde zu drücken. In Folge davon wird die untere Mutter offenbar nur mit $Q - P$, die obere dagegen nach wie vor mit *Q* beansprucht, unter *Q* den Druck verstanden, mit welchem die Contremüttern von vornherein gegen einander gepreßt wurden. Würde *P* diesen Druck *Q* erreichen, so würde die untere Mutter gar nicht mehr beansprucht, die obere dagegen gerade noch mit $P = Q$ angegriffen werden. Bei noch weiterer Vergrößerung von *P* würde dann das Gewinde des Bolzens mit *P* beansprucht, von welcher Kraft die untere Mutter auf alle Fälle nur den kleineren Theil zu übertragen hat. Jedenfalls geht aus dieser Betrachtung hervor, daß, wenn man die Müttern verschieden hoch machen will, man der äußeren oder eigentlichen Contremutter die größere Höhe zu geben, und die niedrigere Mutter zwischen Contremutter und Befestigungsplatte zu legen hat, nicht umgekehrt, wie es häufig gesehen wird. Es dürfte aber im Allgemeinen die Annahme gleicher Höhe für beide Müttern empfehlenswerth sein.