2. der Flächendruck unter der Mutter zu hoch wird, dadurch daß
a) das Schraubenloch zu groß ist,
b) der Werkstoff, auf dem die Mutter oder der Schraubenkopf aufliegt, hohen Flächendruck nicht verträgt, wie etwa Holz, an dem nur $p = 40$ kg/cm² zulässig ist.

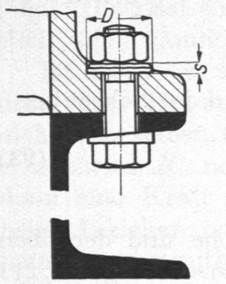

Abb. 372. Verwendung von Unterlegscheiben.

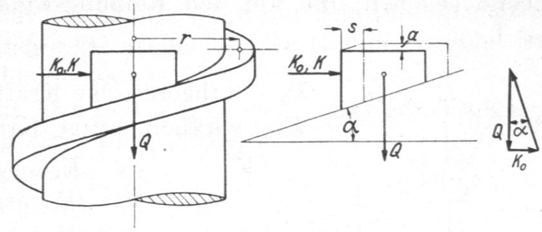

Abb. 373. Kraftverhältnisse an einer Schraube.

In den Fällen 1 und 2a genügen die Abmessungen der normalen Scheiben nach DIN 125, vgl. den untenstehenden Auszug und Abb. 372 oben. An Flanschen von U-Eisen wird die schiefe Fläche durch keilförmige Vierkant-U-Scheiben der DIN 434, Abb. 372 unten, an I-Trägern durch Vierkant-I-Scheiben nach DIN 435 ausgeglichen, um Biegebeanspruchungen in den Schrauben zu vermeiden.

Im Fall 2b ist die Größe der Unterlegscheibe je nach dem zulässigen Auflagedruck zu berechnen. Vierkantscheiben für Holzverbindungen siehe DIN 436.

Zusammenstellung 70. **Blanke Scheiben nach DIN 125** (Auszug).

Für Gewinde		Bohrung d'	D	s	Für Gewinde		Bohrung d'	D	s	Für Gewinde		Bohrung d'	D	s
Whitw.	Metr.				Whitw.	Metr.				Whitw.	Metr.			
—	5	5,2	12	0,8	$1^{3}/_{8}''$	—	36	68	6	—	84	86	150	12
—	6	6,2	14	1,5	—	36	37	68	6	$3^{1}/_{2}''$	89	92	160	12
—	8	8,3	18	2	$1^{1}/_{2}''$	—	39	75	6	—	94	96	165	12
($^{3}/_{8}''$)	—	9,8	22	2,5	—	39	40	75	6	$3^{3}/_{4}''$	—	98	165	12
—	10	10,3	22	2,5	$1^{5}/_{8}''$	—	43	80	7	—	99	102	180	14
—	12	12,5	28	3	—	42	43	80	7	$4''$	—	105	180	14
$^{1}/_{2}''$	—	13,2	28	3	$1^{3}/_{4}''$	45	46	85	7	—	104	108	185	14
—	14	14,5	30	3	($1^{7}/_{8}''$)	48	50	92	8	$4^{1}/_{4}''$	109	112	190	14
$^{5}/_{8}''$	16	16,5	34	3	$2''$	—	52	98	8	$4^{1}/_{2}''$	114	118	205	14
—	18	19	40	4	—	52	54	98	8	—	119	122	215	16
$^{3}/_{4}''$	—	20	40	4	—	56	58	105	9	$4^{3}/_{4}''$	—	125	215	16
—	20	21	40	4	$2^{1}/_{4}''$	—	60	105	9	—	124	128	220	16
$^{7}/_{8}''$	22	23	45	4	—	60	62	112	9	$5''$	—	130	220	16
—	24	25	45	4	$2^{1}/_{2}''$	64	66	120	9	—	129	132	225	16
$1''$	—	26,5	52	5	—	68	70	125	10	$5^{1}/_{4}''$	134	138	230	16
—	27	28	52	5	$2^{3}/_{4}''$	—	72	130	10	$5^{1}/_{2}''$	139	142	245	18
$1^{1}/_{8}''$	—	29,5	58	5	—	72	74	130	10	—	144	148	255	18
—	30	31	58	5	$3'$	76	78	135	10	$5^{3}/_{4}''$	—	150	255	18
$1^{1}/_{4}''$	—	33	62	5	—	80	82	145	12	—	149	152	255	18
—	33	34	62	5	$3^{1}/_{4}''$	—	84	150	12	$6''$	—	155	270	18

Bezeichnet werden die Unterlegscheiben durch Angabe des Lochdurchmessers d' in mm und die DIN-Nummer, z. B. blanke Scheibe 20 DIN 125.

IV. Kraftverhältnisse an den Schrauben.

Die Schraube, Abb. 373, an der die Kräfte K_0 und K, die zur Verschiebung der mit Q belasteten Mutter ohne bzw. unter Einschluß der Reibung nötig sind, tangential am mittleren Flankenhalbmesser $r = \frac{d_f}{2}$ der Schraubenflächen wirken mögen, ist als schiefe Ebene zu betrachten. Ohne Rücksicht auf die Reibung muß auf Grund der Arbeitsgleichung

$$K_0 \cdot s = Q \cdot a$$

sein, wenn s und a die Strecken sind, die K_0 und Q bei einer Verschiebung zurücklegen.

Mit $\frac{a}{s} = \operatorname{tg} \alpha$ oder nach dem Krafteck in Abb. 373 wird

$$K_0 = Q \cdot \operatorname{tg} \alpha. \tag{96}$$

Tritt die Reibung hinzu, so ist die Kraft zum Heben durch diejenige auf einer schiefen Ebene gegeben, die um den Reibungswinkel ϱ stärker, also unter $\alpha + \varrho$ geneigt ist.

$$K = Q \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varrho). \tag{97}$$

Das Verhältnis $\frac{K_0}{K} = \frac{\text{theoretische Kraft}}{\text{wirklich nötige Kraft}}$ ist der **Wirkungsgrad** der Schraube.

$$\eta = \frac{K_0}{K} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg}(\alpha + \varrho)} \tag{98}$$

Zahlenbeispiel. Am 24 mm-Flachgewinde mit $h = 6$ mm Ganghöhe und derselben Gewindetiefe wie das Metrische gleichen Durchmessers ist nach Zusammenstellung 61 S. 211

$$r = \frac{d_f}{2} = \frac{2{,}205}{2} = 1{,}103 \text{ cm}$$

und mithin

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{2\pi r} = \frac{0{,}6}{2\pi \cdot 1{,}103} = 0{,}0866 \text{ oder } \alpha = 5^0.$$

Mit $\mu = 0{,}1$ oder $\varrho = 6^0$ wird

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg}(\alpha + \varrho)} = \frac{\operatorname{tg} 5^0}{\operatorname{tg} 11^0} = 0{,}45;$$

nur 45% der aufgewandten Arbeit werden in Nutzarbeit umgesetzt, 55% gehen durch Reibung verloren!

In Abb. 374 ist der Wirkungsgrad η in Abhängigkeit vom Steigungswinkel α oder der Steigung $\operatorname{tg} \alpha$, unter Annahme eines unveränderlichen Wertes für den Reibungswinkel, $\varrho = 6^0$, dargestellt. η nimmt zunächst rasch, dann allmählich zu, erreicht einen Höchstwert bei $\alpha = 45^0 - \frac{\varrho}{2}$, wie sich durch Nullsetzen des Differentialquotienten $\frac{d\eta}{d\alpha}$ zeigen läßt und sinkt dann langsam wieder. Beispielweise liegt der größte Wert, wenn $\varrho = 6^0$ beträgt, bei $\alpha = 42^0$ und beträgt $\eta_{\max} = 0{,}81$. Aber schon von etwa 15^0 ab ist der Wirkungsgrad recht günstig, eine Tatsache, die man bei der Gestaltung von Schneckentrieben benutzt.

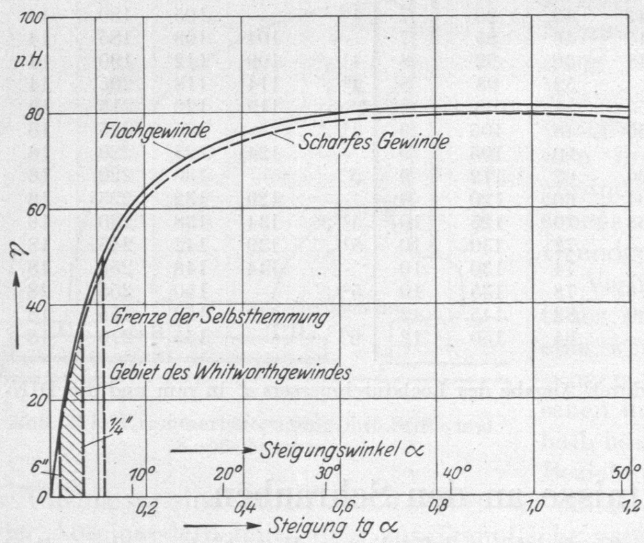

Abb. 374. Wirkungsgrad der Schrauben in Abhängigkeit von der Steigung und dem Steigungswinkel.

Das beim Anziehen der Schrauben aufzuwendende Kraftmoment ist unter Berücksichtigung der Reibung

$$M = K \cdot r = Q \cdot r \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varrho). \tag{99}$$

Wird die Klammer aufgelöst und $\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{2\pi r}$, $\operatorname{tg} \varrho = \mu$ gesetzt, so geht die Gleichung über in die Form:

$$M = Q \cdot r \cdot \frac{h + 2\pi r \cdot \mu}{2\pi r - h \cdot \mu}. \tag{100}$$

Soll die Last sinken oder die Schraube gelöst werden, so ist die Schraube als eine schiefe Ebene, deren Winkel um ϱ verkleinert ist, zu betrachten, woraus die Größe der am Halbmesser r wirkenden Kraft

$$K' = Q \cdot \operatorname{tg}(\alpha - \varrho) \tag{101}$$

folgt. Die Last sinkt und die Mutter löst sich von selbst, wenn die Schraube genügend steil, wenn nämlich $\alpha > \varrho$ oder der Steigungswinkel größer als der Reibungswinkel ist.

Ist $\alpha = \varrho$, so wird $K' = 0$; die Mutter bleibt auch unter der Wirkung der Last Q in Ruhe; sie löst sich nicht von selbst, es tritt Selbsthemmung ein. Für $\alpha < \varrho$ wird K' negativ; zum Lösen der Schraube ist dann eine Kraft nötig, entgegengesetzt gerichtet der beim Anziehen notwendigen. Die Grenze der Selbsthemmung ist mithin in Abb. 374 durch den Reibungswinkel ϱ gegeben; innerhalb des Gebietes liegen die gebräuchlichen Befestigungsschrauben. Freilich ist mit der Selbsthemmung ein niedriger Wirkungsgrad, kleiner als 0,5 verbunden, wie aus der Formel für η hervorgeht, wenn man $\alpha = \varrho$ einsetzt:

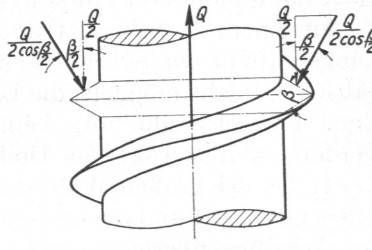

Abb. 375. Kraftwirkung an scharfgängigen Schrauben.

$$\eta = \frac{\operatorname{tg}\varrho}{\operatorname{tg}2\varrho} = \frac{\operatorname{tg}\varrho\,(1 - \operatorname{tg}^2\varrho)}{2\operatorname{tg}\varrho} = \tfrac{1}{2} - \tfrac{1}{2}\operatorname{tg}^2\varrho.$$

An scharfgängigen Schrauben fällt, genau genommen, die Reibung etwas größer aus. Wird nämlich die Schraubenfläche näherungsweise als Kegelfläche betrachtet, so zeigt Abb. 375, daß die Kraft senkrecht zur Kegelfläche, welche die Reibung erzeugt,

$$\frac{2 \cdot Q}{2\cos\frac{\beta}{2}} \text{ und mithin die Reibung } \frac{Q}{\cos\frac{\beta}{2}} \cdot \mu = Q\left(\frac{\mu}{\cos\frac{\beta}{2}}\right) = Q \cdot \mu' \quad \text{ist.}$$

Für das Metrische Gewinde ist z. B.

$$\frac{\beta}{2} = 30^0,\ \mu' = \frac{\mu}{0{,}866} = 1{,}15\,\mu.$$

Dementsprechend wird das Moment zum Anziehen der Schraube

$$M = Q \cdot r \cdot \frac{h + 2\pi r \cdot \mu'}{2\pi r - h \cdot \mu'} \tag{100a}$$

größer, der Wirkungsgrad

$$\eta' = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}(\alpha + \varrho')} \tag{98a}$$

dagegen niedriger, wobei ϱ' aus $\operatorname{tg}\varrho' = \mu' = \dfrac{\mu}{\cos\beta}$ zu ermitteln ist.

Vergleichsweise ergibt sich für das Metrische 24 mm-Gewinde

$$\eta' = \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}(\alpha + \varrho')} = \frac{\operatorname{tg}5^0}{\operatorname{tg}(5^0 + 6^0\,34')} = 0{,}428.$$

V. Berechnung der Schrauben.

Die zulässige Beanspruchung der Schrauben hängt nicht allein vom Werkstoff und von der Art der wirkenden Kräfte ab, sondern auch von der Herstellung. Beim Schneiden des Gewindes wird der Werkstoff leicht überanstrengt und verletzt; kleine, aber als scharfe Kerben wirkende Anrisse können später zu Brüchen führen. Für gewöhnliche Handelsschrauben sollen deshalb nur $^8/_{10}$ der Beanspruchungen zugelassen werden, die für sorgfältig auf der Drehbank hergestellte gelten.