Man sieht hieraus, dafs die Widerstandsfähigkeit der Schraubenbolzen gegen einen Seitendruck, welcher auf Verschieben in der Ebene der Fuge wirkt,. nicht sehr beträchtlich ist. Es ist daher zu empfehlen, da wo ein bedeutendes Bestreben zur Verschiebung nach der Seite hin vorhanden ist, diesen Seitendruck niemals von den Schrauben allein tragen zu lassen, sondern noch auf irgend eine Weise den Schrauben zur Hilfe zu kommen. Hierher gehört z. B. das Einlassen des einen Befestigungsstückes in das andere, die Anwendung der Dübel (§ 26), oder auch eine eigenthümliche Gestaltung der Befestigungsfuge (s. Holzverbände im zweiten Kapitel A, a).

Berechnung der Schrauben auf den Widerstand gegen die Trennung der Fuge.

§ 45. Es bleibt nun noch nach § 43 die zweite Frage zu beantworten:

welche Dimensionen mufs die Schraube erhalten, um dem auf Trennung der Fuge wirkenden Druck gehörig zu widerstehen?

Der auf Trennung der Fuge, also in der Richtung der Axe der Schraube wirkende Druck kann eine Lösung der Befestigung in zwiefacher Weise bewirken; nämlich:

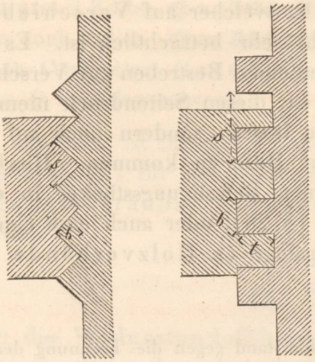
1) indem er das Material der Schraube zerstört, die Schraube also zerreifst, oder
2) indem er die Reibung in der Schraubenmutter überwindet, und eine Drehung und fortschreitende Bewegung des einen oder des anderen Schraubentheils hervorbringt.

Untersuchen wir zuerst die Widerstandsfähigkeit der Schrauben gegen das Zerreifsen.

Während die Berechnungen des vorigen Paragraphen den Zweck hatten, zu untersuchen, welchen Druck man mittelst der Schraube durch Umdrehung der Mutter ausüben kann, um die zu befestigenden Theile zusammen zu pressen, wird es hier sich darum handeln, zu bestimmen, welchem Druck die Schraube mit Sicherheit widerstehen könne, wenn selbiger in der Längenrichtung der Schraube auf **Zerreifsen** der Schraube wirkt.

Das Zerreifsen der Schraube kann wieder in zwiefacher Weise erfolgen:

a) indem die absolute Festigkeit der Schraube in Anspruch



genommen wird, und an der schwächsten Stelle der Spindel ein Abreifsen stattfindet, oder

b) indem die einzelnen Schraubengänge, welche sich an den Kern als Vorsprünge ansetzen, von dem Kern getrennt werden, also von dem Kern der Schraube oder von der äufsern Mantelfläche der Mutter durch den in der Richtung der Axe wirkenden Druck abgelöst, gleichsam abgeschnitten oder abgestreift werden.

Um diese Art des Zerreifsens der Schraube anschaulich zu machen, braucht man nur sich vorzustellen, die Gewinde der Mutter und der Spindel blieben in einander stecken und der Kern der Schraube werde durch die Mutter hindurch gezogen, indem sich die Gewinde vollständig abstreiften.

Offenbar wird der Widerstand gegen die Trennung in der angedeuteten Weise ein um so gröfserer, je gröfser die Anhaftungsfläche der Gewinde an den Kern ist; je höher also unter sonst gleichen Umständen die Mutter ist.

Die Mutter und die Spindel müssen nun so proportionirt werden, dafs sie eine möglichst gleiche Widerstandsfähigkeit gewähren, und danach ist die Höhe der Mutter zu bemessen.

Bezeichnet d' den Durchmesser des Kerns in engl. Zollen,
h die Höhe der Mutter,
so wird bei dreiseitigen Gewinden, welche zwischen den einzelnen Schraubengängen den Kern nicht blofs lassen, denselben vielmehr vollständig bedecken (§ 39. S. 60) die Auhaftungsfläche der Schraubengänge an den Kern

$$= \pi d' h$$

sein. Bei flachgängigen Schrauben, bei welchen die Breite des Ganges gleich der Breite des Zwischenraums ist, würde man nur $\pi \, . \, d' \, . \, \frac{1}{2} h$ für die Anhaftungsfläche zu setzen haben.

Obwohl bestimmte Versuche über den Widerstand gegen das Abschneiden noch nicht existiren, so läfst sich doch aus der absoluten Festigkeit mit ziemlicher Zuverlässigkeit ableiten, dafs man den preufsischen □Zoll einer Fläche, welche dem Abschneiden widerstehen soll, für Schmiedeeisen mit hinreichender Sicherheit nicht stärker als 1000 bis 2000 Pfund belasten dürfe*).

Nimmt man als Durchschnittswerth 1900 Pfund und setzt man 1 engl. □Zoll = 0,943 preufs. □Zoll, so hat man für die Belastung eines engl. □Zolls mit Sicherheit 1790 preufs. Pfund. Hiernach wird die Belastung, welche eine Befestigungsschraube vom Kerndurchmesser d' mit Sicherheit aushalten kann, sich ausdrücken durch:

$$\pi d' h \,.\, 1790 \text{ Pfund.}$$

Die schwächste Stelle der Schraubenspindel ist gewöhnlich der Kern, und man wird behufs der Bestimmung der Festigkeit, welche die Schraube gegen Zerreifsen darbietet, den Querschnitt des Kerns als maafsgebend ansehen. Rechnet man die Belastung, welche schmiedeeiserne Stäbe mit Sicherheit tragen können, wenn sie nur bis zur Hälfte der Grenze der vollkommenen Elastizität in Anspruch genommen werden, zu 10000 Pfund pro 1 preufs. □Zoll oder zu 9430 preufs. Pfund für einen engl. □Zoll, so ist die zulässige Belastung in dieser Beziehung für einen Kerndurchmesser $= d'$.

$$1)\quad \tfrac{1}{4}\pi d'^2 \,.\, 9430.$$

Setzen wir die beiden eben gefundenen Werthe einander gleich,

*) Den Widerstand gegen das Abschneiden oder Abdrücken eines Körpers kann man sich nämlich als die Kraft denken, welche sich dem Verschieben des abzuschneidenden Theiles gegen den feststehenden entgegensetzt; es mufs bei diesem Verschieben ein Gleiten des ersten über den letzten stattfinden. Kennt man nun den Druck, mit welchem beide Theile zusammengeprefst werden, $= P$, und den Reibungs-Koeffizienten des Materials $= \mu$, so mufs der Widerstand gegen das Abschneiden oder Abdrükken sich ausdrücken durch μP. Der Druck P ist aber kein anderer, als die absolute Festigkeit der Materialien, denn man wird mit Recht schliefsen können, dafs der Druck, mit welchen die einzelnen Theilchen zusammenhalten, gleich demjenigen sei, welcher sich ihrer Trennung entgegensetzt. Diese Ansicht bedarf natürlich noch der Bestätigung durch Versuche. Einstweilen mag man sie adoptiren, und berücksichtigen, dafs man Maschinentheile und Baukonstruktionen auf die Dauer nur mit $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{6}$ des Druckes in Anspruch nehmen darf, welcher die Trennung herbeiführen würde. Hiernach hätte man für einen preufs. □Zoll:

	Absolute Festigkeit P.	Reibungs-Koeffiz. μ.	Widerst. geg. d. Abdrücken $P\mu$.	Zulässige Belastung pro □Zoll.
Schmiedeeisen	60000 Pfd.	0,2	12000	$\frac{1}{6} . 12000 = 2000$
Gufseisen . . .	20000 »	0,2	4000	$\frac{1}{6} . 4000 = 700$
Bronze	37000 »	0,2	7400	$\frac{1}{6} . 7400 = 1230$
hartes Holz . .	16000 »	0,4	6400	$\frac{1}{10} . 6400 = 640$
weiches Holz .	9000 »	0,4	3600	$\frac{1}{10} . 3600 = 360.$

so ergiebt sich daraus die Höhe der Anhaftungsfläche der Gewinde an den Kern, oder — bei gewöhnlichen scharfen Gewinden der Befestigungsschrauben — die Höhe der Schraubenmutter, welche nöthig ist, wenn die Schraube gegen das Zerreifsen und gegen das Abschneiden (Ausreifsen) der Gänge gleich stark in Anspruch genommen werden soll:

$$\pi d' h 1790 = \tfrac{1}{4}\pi d'^2\, 9430.$$

$$2)\ h = \frac{9430}{4.1790} \cdot d' = 1{,}31\, d'.$$

Nun ist, wenn d den Spindel-Durchmesser, t die Tiefe des Gewindes bezeichnet,

$$d' = d - 2t;$$

es ist aber (§ 34) $t = 0{,}96 s$ bei einem Kantenwinkel von 55°,

$t = 0{,}87 s$ bei einem Kantenwinkel von 60°,

wenn s die Steigung bezeichnet, also:

$d' = d - 1{,}9210 s$ bei einem Kantenwinkel von 55°,

$d' = d - 1{,}7321 s$ bei einem Kantenwinkel von 60°.

Nach der Whitworthschen Skala (S. 63) gehen bei $\frac{1}{4}$ Zoll starken Schrauben 5, bei 2zölligen Schrauben 9 Gewinde auf eine Länge gleich dem Durchmesser; es ist also:

s für $\frac{1}{4}$zöllige Schrauben $= \frac{1}{5} d$,

s für 2zöllige „ $= \frac{1}{9} d$,

daher für einen Kantenwinkel von 55°:

für $\frac{1}{4}$zöllige Schrauben $d' = 0{,}616 d$,

für 2zöllige „ $d' = 0{,}786 d$;

für einen Kantenwinkel von 60°:

für $\frac{1}{4}$zöllige Schrauben $d' = 0{,}654 d$,

für 2zöllige „ $d' = 0{,}808 d$.

Setzt man diese Werthe in den Werth 2) für die Höhe der Mutter h ein, so hat man:

	für 55° Kantenwinkel	für 60° Kantenwinkel
für $\frac{1}{4}$zöllige Schrauben	$h = 0{,}81 d$, ...	$0{,}86 d$,
für 2zöllige „	$h = 1{,}03 d$, ...	$1{,}06 d$.

Diese Rechnung rechtfertigt also vollkommen die konstruktive Annahme der §§ 38, 39 und 40, nach welcher die Höhe der Mutter durchschnittlich gleich dem Schrauben-Durchmesser zu nehmen sei — und dafs diese Höhe nur dann gröfser zu sein braucht, wenn man eine starke Abnutzung der Gewinde durch häufiges Lösen und Anziehen der Schraube zu fürchten hat*).

Es wird nicht schwer sein, diese Rechnungen, vorkommenden Falls, auf die Gewinde mit rechteckigem Querschnitt auszudehnen**), oder sie für den Fall umzugestalten, wenn die Mutter und die Schraube aus verschiedenen Materialien besteht, oder wenn beide nicht aus Schmiedeeisen, sondern aus einem andern Material konstruirt werden sollen.

Nennt man P die Belastung, welche man der Schraube in der Richtung ihrer Axe geben kann, ohne dafs die Schraube in Bezug auf Festigkeit und Elastizität zu stark in Anspruch genommen wird, so hat man nach der Gleichung 1):

$$P = \tfrac{1}{4}\pi d'^2 \,.\, 9430,$$

$$d' = \frac{1}{81{,}4}\sqrt{P}.$$

Setzt man für d' die oben ermittelten Werthe, so ergiebt sich für einen Kantenwinkel von

	55°:	60°:
für $\tfrac{1}{4}$zöll. Schr.	$d = \frac{1}{50}\sqrt{P} = 0{,}02\sqrt{P}$	$d = \frac{1}{53}\sqrt{P} = 0{,}019\sqrt{P}$
für 2zöll. „	$d = \frac{1}{64}\sqrt{P} = 0{,}016\sqrt{P}$	$d = \frac{1}{66}\sqrt{P} = 0{,}015\sqrt{P}$.
Im Mittel	$d = 0{,}018\sqrt{P}$	$d = 0{,}017\sqrt{P}$.

Man wird daher durchschnittlich setzen können

$$\boldsymbol{d = 0{,}018\sqrt{P}},$$

wenn d den Durchmesser der Schraube in engl. Zollen, P die Belastung derselben in preufs. Pfunden, wenn selbige in der Richtung der Axe auf Zerreifsen wirkt, bezeichnet.

($d = 0{,}0689\sqrt{P}$, wenn d in Centimètres, P in Kilogr.)

Hieraus ergiebt sich die Belastung P, welche eine Schraube von gegebenem Durchmesser mit Sicherheit aushalten kann:

$$P = 3086\, d^2 \text{ Pfund}$$

($P = 212\, d^2$, wenn P in Kilogrammes, d in Centimètres).

---

*) Redtenbacher giebt in seinen Resultaten für den Maschinenbau § 61 für die Höhe der Mutter von Befestigungsschrauben

$$h = 0{,}24 + 1{,}16\, d \;(\textit{in Centimètres}),$$

welches für preufs. Maafs ist:

$$h = \tfrac{1}{10}\text{ Zoll} + 1{,}16\, d.$$

**) Für flache Schraubengewinde mit quadratischem Querschnitt wird die Mutter doppelt so hoch, als für scharfe Gewinde.

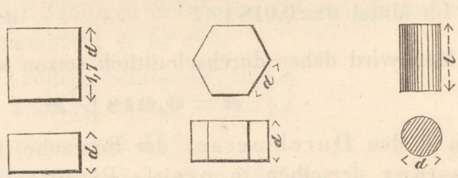
Vergleicht man hiermit das Resultat des vorigen Paragraphen, so ergiebt sich:

> dafs die Belastung, welche eine Schraube mit Sicherheit tragen kann, wenn sie auf Zerreifsen in Anspruch genommen wird, 2,78, also mehr als $2\frac{3}{4}$ mal so grofs ist, als der Druck, welchen man durch dieselbe Schraube in der Richtung ihrer Axe mittelst Anziehen der Mutter ausüben kann;

und:

> dafs eine Schraube, welche durch einen gegebenen Druck auf Zerreifsen in Anspruch genommen wird, nur 0,6 so stark zu sein braucht, als wenn sie diesen Druck durch Anziehen hervorbringen sollte.

Hiernach ist für die Schraubenbolzen der Whitworthschen Skala (Seite 63), soweit dieselben als Befestigungsschrauben vorkommen, folgende Tabelle berechnet worden, in welcher sich zugleich das Gewicht von **100** laufenden Zollen des Bolzens, sowie der quadratischen und sechseckigen Schraubenköpfe angegeben findet, wenn dieselben nachstehende Dimensionen haben:



Inhalt:	$2{,}89\,d^0$	$2{,}60\,d^3$	$0{,}785\,d^2\,l$
Gewicht in preufs. Pfunden*)	für d und l in preufs. Zollen:		
	$0{,}85\,d^3$	$0{,}77\,d^3$	$0{,}23\,d^2\,l$,
	für d und l in engl. Zollen:		
	$0{,}78\,d^3$	$0{,}70\,d^3$	$0{,}21\,d^2\,l$,
	für d in engl., l in preufs. Zollen:		
	$0{,}78\,d^3$	$0{,}70\,d^3$	$0{,}22\,d^2\,l$

*) Schmiedeeisen: 1 preufs. Kubikzoll = 0,295 preufs. Pfund.
1 engl. » = 0,270 » »

V. Tabelle

über die Widerstandsfähigkeit von Schraubenbolzen und Befestigungsschrauben, wenn der Druck in der Richtung der Axe auf Zerreifsen wirkt, so wie über die Gewichte der Bolzen und der quadratischen und sechseckigen Schraubenköpfe.

No.	Durchmesser des Bolzens nach der Whitworthschen Skala in engl. Zollen d	Druck P, welchen die Schraube in der Richtung ihrer Axe mit Sicherheit aushalten kann, in preufs. Pfunden	Gewicht einer Bolzenlänge von 100 preufs. Zollen in preufs. Pfunden	Gewicht von 10 Stück quadratischen Schraubenköpfen von 1,7 d Seite und d Höhe in preufs. Pfunden	Gewicht von 10 Stück sechseckigen Schraubenköpfen von d Seite und d Höhe in preufs. Pfunden
1	$\frac{1}{9}$	190	1,38	0,12	0,11
2	$\frac{5}{16}$	300	2,15	0,24	0,21
3	$\frac{3}{8}$	430	3,10	0,41	0,37
4	$\frac{7}{16}$	590	4,21	0,65	0,59
5	$\frac{1}{2}$	770	5,50	0,98	0,88
6	$\frac{5}{8}$	1200	8,60	1,90	1,71
7	$\frac{3}{4}$	1730	12,40	3,29	2,95
8	$\frac{7}{8}$	2360	16,84	5,22	4,69
9	1	3080	22,00	7,80	7,00
10	$1\frac{1}{8}$	3900	27,86	11,11	9,97
11	$1\frac{1}{4}$	4820	34,40	15,23	13,70
12	$1\frac{3}{8}$	5840	41,75	20,28	18,20
13	$1\frac{1}{2}$	6940	49,60	26,32	23,62
14	$1\frac{5}{8}$	8150	58,31	33,47	30,04
15	$1\frac{3}{4}$	9450	67,36	41,80	37,52
16	$1\frac{7}{8}$	10850	77,63	51,42	46,14
17	2	12350	88,00	62,40	56,00

Berechnung des Drucks zum Lösen der Schrauben.

§ 46. Betrachten wir schliefslich den zweiten Fall des § 45. Eine Lösung der Befestigungsschrauben kann auch dadurch eintreten, dafs der in der Richtung der Axe wirkende Druck P auf irgend eine Weise vermehrt, oder der in der Richtung der Peripherie wirkende Druck p auf irgend eine Weise vermindert wird. Es ist denkbar, dafs durch den Druck P nicht nur der