

## Auslegung von Scheiben für hochfeste Schraubverbindungen

BURDE-CO, Hartmut Mossig, 2003

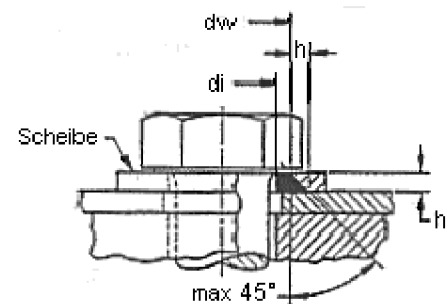
Die Scheibe ist ein oft unterschätzter Bauteil einer Schraubverbindung. Bei der Auswahl des Werkstoffes und der Dimensionierung der Scheibe ist ebenso sorgfältig vorzugehen wie bei den Überlegungen zum Befestigungselement, Schraube oder Mutter. Eine falsch ausgelegte Scheibe führt zum Versagen der gesamten Schraubverbindung.

### Allgemein

Bei der Auslegung einer Schraubverbindung der Festigkeitsklasse –8.8- oder höher, ist die elastische Nachgiebigkeit der geklemmten Teile zu berücksichtigen. Nach erfolgter Montage dürfen Setzvorgänge im Klemmverband nicht zu einem unzulässigen Verlust der Vorspannkraft führen. Nach dem Anziehen der Schraube oder Mutter werden die Oberflächenrauheiten an den relativ bewegten Oberflächen eingeebnet, viel wichtiger ist jedoch, daß die Grenzflächenpressungen nicht überschritten werden. Dies hätte ein Kriechen der verspannten Teile in den Auflageflächen zur Folge und würde früher oder später zu einem Versagen der Schraubverbindung unter Betriebsbedingungen führen. Die Scheibe ist daher entsprechend dem Klemmverband anzupassen und so auszulegen, daß unter Betriebsbedingungen die erforderliche Restklemmkraft erhalten bleibt.

### Dimensionierung und Flächenpressung

Durch die Vorspannkraft entstehen an der Schraubenkopf- oder Mutternauflage Flächenpressungen. Wird die Quetschgrenze des Werkstoffes des verspannten Teils überschritten, kann die Flächenpressung in der Auflage durch Unterlegen einer richtig dimensionierten Scheibe verringert werden. Unter der vereinfachten Annahme, daß die Kräfteinleitung in die Druckzone der Schraubverbindung unter einem Winkel von 45° erfolgt, ergibt sich daraus ein effektiver Außendurchmesser der Scheibe:



$$d_2 = d_w + 2 \cdot h$$

Dimensionierung der Scheibe am Beispiel Sechskantschraube nach DIN 931

Tabelle 1: effektiver Scheiben – Außendurchmesser  $d_2$

	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20
dw [mm]	8,9	11,6	15,6	17,4	20,5	22,5	25,3	28,2
h [mm]	<b>d<sub>2</sub></b>	<b>d<sub>2</sub></b>	<b>d<sub>2</sub></b>	<b>d<sub>2</sub></b>	<b>d<sub>2</sub></b>	<b>d<sub>2</sub></b>	<b>d<sub>2</sub></b>	<b>d<sub>2</sub></b>
1,6	12,1	14,8	18,8					
1,8	12,5	15,2	19,2	21,0				
2,0	12,9	15,6	19,6	21,4	24,5			
2,5	13,9	16,6	20,6	22,4	25,5	27,5		
3,0	14,9	17,6	21,6	23,4	26,5	28,5	31,3	
4,0		19,6	23,6	25,4	28,5	30,5	33,3	36,2
5,0			25,6	27,4	30,5	32,5	35,3	38,2
6,0				29,4	32,5	34,5	37,3	40,2

Bei einer Scheibe mit dem Innendurchmesser  $d_i$ , sowie der entsprechenden Prüfkraft  $F_p$  für Schrauben mit Regelgewinde resultiert allgemein die Flächenpressung:

$$p = \frac{F_p}{A_p} = \frac{F_p}{\frac{\pi}{4} \cdot (d_2^2 - d_i^2)}$$

Die auftretende Flächenpressungen an einer aufgesteckten Scheibe am Beispiel Sechskantschraube nach DIN 931 mit der Festigkeitsklasse 10.9 und einer Prüfkraft  $F_p$  nach DIN ISO 898, siehe Tabelle 2.

Tabelle 2: Flächenpressung  $p$  [N/mm<sup>2</sup>] mit  $d_2$  nach Tabelle 1

	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20
$F_p$ [N]	16700	30400	48100	70000	95500	130000	159000	203000
$d_i$ [mm]	6,4	8,4	10,5	13,0	15,0	17,0	19,0	21,0
$h$ [mm]	$p$	$p$	$p$	$p$	$p$	$p$	$p$	$p$
1,6	201,7	260,7	251,9					
1,8	184,5	241,2	237,1	327,7				
2,0	169,5	224,0	223,6	308,5	324,1			
2,5	139,7	188,8	195,0	267,9	286,0	354,3		
3,0	117,5	161,8	171,9	235,5	254,8	316,4	327,3	
4,0		123,4	137,1	187,2	207,1	258,2	270,7	297,3
5,0			112,4	153,2	172,4	215,8	228,8	253,9
6,0				128,2	146,3	183,7	196,5	220,0

### Werkstoffe

Um ein Kriechen der Scheibe und damit einen Verlust an Vorspannung zu vermeiden, ist ein, entsprechend der Anziehmomente, zäher Werkstoff vorzusehen, bzw. mindestens der Grenzflächenpressung für die gedrückte Teile anzupassen.

Tabelle 3: Grenzflächenpressung  $p_G$  für gedrückte Teile (Richtwerte) [1]

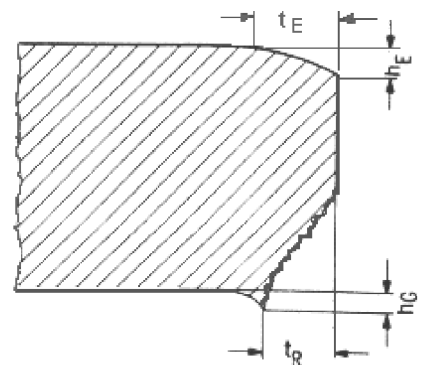
Werkstoff	Al 99	GD MgAl 9	St 37	St 50	C 45	GG 40
Zugfestigkeit $R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	160	300	370	500	800	400
Grenzflächenpressung $p_G$ [N/mm <sup>2</sup> ]	140	220	260	420	700	1100

In der Praxis und im Einzelfall können die Werte höher angesetzt werden.

In Anpassung der mechanischen Eigenschaften der Verbindungselemente ist für die Scheibe ein Werkstoff mit der Härte HV<sub>98</sub> von min. 200 für die Schrauben Güte –8.8–, für höhere Festigkeitsklassen eine Härte HV<sub>98</sub> von min. 300 vorzusehen. Als Scheibenwerkstoff hat sich der kaltgewalzte Vergütungsstahl C45, Werkst.Nr. DIN 1.0503 bewährt.

### Maß-, Lage-, Formabweichungen

Die geometrischen Abweichungen und Toleranzen sind vom Herstellungsverfahren abhängig. Das Massenprodukt Scheibe wird im Stanzverfahren im Folgeschnitt gefertigt. Neben den Abweichungen von der Ebenheit sind die Einzugshöhe  $h_E$  sowie dem Glattschnitt folgende Einrißtiefe  $t_R$  und Grathöhe  $h_G$  von Bedeutung. Abhängig vom Schneidspalt und vom Werkstoff kann die Einzugshöhe bis zu 20 % der Blechdicke betragen [2]. Der daraus resultierende Kanteneinzug  $t_E$  ist bei der Ermittlung der Flächenpressung zu berücksichtigen. Eine Verbesserung, insbesondere bei Blechdicken  $> 3$  mm ist mittels Feinschneiden zu erreichen. Die so in einem Arbeitsgang geschnittenen Scheiben weisen eine hohe Maß- und Formgenauigkeit auf und sind nach dem Entgraten einbaufertig. Mit den beim Stanzen und Feinschneiden eingesetzten kaltgewalzten Bändern sind, mit einer Rauheit der Oberfläche normal  $R_a$  0,6 - 1,8  $\mu\text{m}$ , die erforderlichen Kopfreibungszahlen einzuhalten.



Darüber hinausgehende Forderungen an Kanteneinzug, Parallelität, Planheit und Rautiefe sind nur durch aufwendiges Überschleifen der Scheibe möglich.

### Oberfläche

Die Vorspannkraft einer Schraubverbindung wird durch Verdrehen im Muttergewinde erzeugt. Diese ist proportional dem Anziehdrehmoment. Allerdings ist nur ein geringer Anteil der aufgewendeten Arbeit nutzbar. Ein Großteil, mehr als 40%, geht durch Reibung unter dem Kopf- bzw. der Mutternauflagefläche verloren, dabei sinkt der Wirkungsgrad mit steigender Kopfreibungszahl. Es ist daher durch eine geeignete Ausführung der Oberfläche der Scheibe eine Reibungszahl  $\mu_K$  von 0,08 bis 0,15 einzustellen. In der Regel wird dies durch aufgebrauchte oder im Korrosionsschutz integrierte Gleitmittel erreicht.

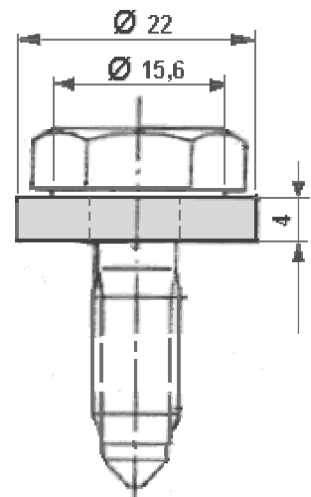
### Ausführung einer Schraube mit Scheibe als Flächenpressungsbrücke

Im Feldversuch zeigte sich die Sonderausführung einer PKW-Federbeinbefestigung axial zeitweise überlastet, Setzerscheinungen in einer komplexen, teilweise lackierten Blech-Klemmverbindung führten zum Lockern der Sechskantschraube DIN 931 M8 x 22 Güte –8.8- .

Durch geänderte Kopfgestaltung und Einsatz einer Scheibe wird die Erhaltung der erforderlichen Restklemmkraft mit folgenden Maßnahmen gesichert:

- Vergrößerung der Kopfauflage der Schraube um eine Schlüsselweite und damit des wirksamen Durchmessers  $d_w$  von 11,6 auf 15,6 mm
- Erhöhung der Vorspannkraft von Güte –8.8- auf –10.9-
- Reduzierung der Flächenpressung mittels unverlierbarer, aufgerollter Scheibe  $d_2 = 22$  (dies war der von der Einbausituation maximal mögliche Außendurchmesser) und  $d_i = 7,4$  mm, sowie einer Stärke von  $h = 4$  mm

Die Härte des Werkstoffes für die gestanzte Scheibe mit  $HV_{98} > 300$  wurde der Güte der Schraube –10.9- angepaßt. Als Korrosionsschutz für Scheibe und Schraube ist eine anorganische Dünnschichtlackierung mit zusätzlich aufgebrauchter Gleitbeschichtung vorgesehen.



### Literatur:

- [1] Handbuch der hochfesten Schrauben, Verlag Giradet, 1986
- [2] Fertigungsverfahren – Blechumformung, Verlag VDI, 1986