

# Inhaltsverzeichnis

<b>Verwendete Formelzeichen</b>	<b>XI</b>
<b>1 Einführung</b>	<b>1</b>
1.1 Zur Geschichte der Schraube	1
1.2 Zum Inhalt des Buches	3
1.3 Schrifttum	3
<b>2 Normung</b>	<b>5</b>
2.1 Gewindenormung	6
2.1.1 Begriffe und Bezeichnungen	6
2.1.2 Gewindesteeme	6
2.1.3 Metrisches ISO-Gewinde	6
2.2 Maßnormen (Produktionsnormen)	10
2.3 Grundnormen	18
2.3.1 Grundmaßnormen	18
2.3.2 Technische Lieferbedingungen	19
2.4 Schrifttum	35
<b>3 Werkstoffe</b>	<b>36</b>
3.1 Allgemeines	36
3.2 Werkstoffe für Schraubenverbindungen bei mechanischer Beanspruchung	37
3.2.1 Zugfestigkeiten unterhalb 800 N/mm <sup>2</sup>	37
3.2.2 Zugfestigkeiten zwischen 800 und 1400 N/mm <sup>2</sup>	40
3.2.3 Zugfestigkeiten oberhalb 1400 N/mm <sup>2</sup>	41
3.2.4 Schraubenverbindungen für den Leichtbau	41
3.3 Werkstoffe für Schraubenverbindungen bei Komplexbeanspruchung	44
3.4 Einfluß der wichtigsten Legierungselemente auf die mechanisch-technologischen Eigenschaften von Stählen	44
3.5 Schrifttum	47
<b>4 Berechnung von Schraubenverbindungen</b>	<b>48</b>
4.1 Einführung	48
4.2 Kraft-Verformungs-Verhältnisse	48
4.2.1 Montagezustand	48
4.2.1.1 Elastische Nachgiebigkeit der Schraube	51
4.2.1.2 Elastische Nachgiebigkeit aufeinanderliegender verspannter Teile	52

4.2.2 Betriebszustand . . . . .	58
4.2.2.1 Zentrischer Angriff einer axialen Betriebskraft in der Ebene der Schraubenkopf- bzw. Mutterauflagefläche . . . . .	58
4.2.2.2 Zentrischer Angriff einer axialen Betriebskraft innerhalb der verspannten Teile zwischen Schraubenkopf und Mutter . . . . .	62
4.2.2.3 Exzentrischer Angriff einer axialen Betriebskraft . . . . .	65
4.3 Rechenschritte . . . . .	75
4.3.1 Rechenschritte des elementaren Berechnungsansatzes . . . . .	75
4.3.2 Rechenschritte des nichtlinearen Berechnungsansatzes . . . . .	87
4.4 Beispiel für die Berechnung einer Pleuel-Schraubenverbindung mit dem elementaren Berechnungsansatz . . . . .	90
4.5 Schrifttum . . . . .	106
<b>5 Tragfähigkeit von Schraubenverbindungen bei mechanischer Beanspruchung</b> . . . . .	107
5.1 Tragfähigkeit bei zügiger Beanspruchung . . . . .	107
5.1.1 Freies belastetes Gewinde . . . . .	112
5.1.2 Schraubenschaft . . . . .	114
5.1.3 Gewindeauslauf und Kopf-Schaft-Übergang . . . . .	114
5.1.4 Schraubenkopf . . . . .	114
5.1.5 Ineinandergreifende Gewinde . . . . .	118
5.1.5.1 Einflüsse auf die Abstreiffestigkeit . . . . .	121
5.1.5.2 Berechnung der erforderlichen Mutterhöhe . . . . .	126
5.1.6 Überlagerte Biegung . . . . .	131
5.1.7 Flächenpressung . . . . .	132
5.1.8 Scherbeanspruchung . . . . .	133
5.2 Tragfähigkeit bei Schwingbeanspruchung . . . . .	135
5.2.1 Spannungszustand und Schädigungsmechanismen . . . . .	135
5.2.2 Einflüsse auf die Dauerhaltbarkeit von Schraubenverbindungen . . . . .	138
5.2.2.1 Dauerhaltbarkeit der Schraube . . . . .	140
5.2.2.2 Dauerhaltbarkeit der Schraube-Mutter-Verbindung . . . . .	149
5.2.2.3 Dauerhaltbarkeit der Schraubenverbindung . . . . .	155
5.2.3 Schadensbeispiel und Abhilfemaßnahmen . . . . .	164
5.2.4 Prüfung der Dauerhaltbarkeit von Schraubenverbindungen . . . . .	166
5.3 Schrifttum . . . . .	168
<b>6 Korrosion und Korrosionsschutz von Schraubenverbindungen</b> . . . . .	172
6.1 Einführung . . . . .	172
6.2 Grundlagen der Korrosion . . . . .	173
6.3 Korrosionsarten . . . . .	178
6.3.1 Korrosion ohne mechanische Beanspruchung . . . . .	178
6.3.1.1 Kontaktkorrosion . . . . .	178
6.3.1.2 Korrosion durch unterschiedliche Belüftung . . . . .	179
6.3.1.3 Berührungs korrosion . . . . .	180
6.3.1.4 Selektive Korrosion . . . . .	180
6.3.2 Korrosion mit zusätzlicher mechanischer Beanspruchung . . . . .	180
6.3.2.1 Spannungsrißkorrosion (SpRK) . . . . .	181
6.3.2.2 Schwingungsrißkorrosion (SwRK) . . . . .	184
6.3.2.3 Reibkorrosion (Korrosionsverschleiß) . . . . .	184
6.4 Möglichkeiten des Korrosionsschutzes . . . . .	184
6.4.1 Korrosionsgerechte konstruktive Gestaltung . . . . .	185
6.4.2 Einsatz nichtrostender Stähle . . . . .	187
6.4.3 Oberflächenüberzüge . . . . .	190
6.4.3.1 Nichtmetallische Überzüge . . . . .	191
6.4.3.2 Galvanische Überzüge . . . . .	192

6.4.3.3 Andere metallische Überzüge . . . . .	197
6.4.4 Beeinflussung des Korrosionsmediums . . . . .	199
6.4.5 Maßnahmen zur Vermeidung der Gefahr einer wasserstoffinduzierten verzögerten Sprödbruchbildung . . . . .	199
6.5 Prüfung des Korrosionsschutzes . . . . .	200
6.6 Normen zur Korrosionsschutzprüfung . . . . .	201
6.7 Schriftum . . . . .	202
<b>7 Schraubenverbindungen bei hohen und tiefen Temperaturen . . . . .</b>	<b>204</b>
7.1 Schraubenverbindungen bei hohen Temperaturen . . . . .	204
7.1.1 Einführung . . . . .	204
7.1.2 Temperaturabhängigkeit der Werkstoffeigenschaften . . . . .	205
7.1.2.1 Physikalische Werkstoffeigenschaften . . . . .	205
7.1.2.2 Mechanische Werkstoffeigenschaften . . . . .	206
7.1.3 Einfluß der Temperatur auf die Betriebeigenschaften von Schraubenverbindungen . . . . .	211
7.1.3.1 Vorspannkraftänderung infolge Wärmedehnung . . . . .	211
7.1.3.2 Vorspannkraftänderung infolge Relaxation . . . . .	218
7.1.3.3 Sprödbruchverhalten von warmfesten Schraubenverbindungen . . . . .	229
7.1.3.4 Löseverhalten von Schraubenverbindungen nach Hochtemperaturbeanspruchung . . . . .	230
7.2 Schraubenverbindungen bei tiefen Temperaturen . . . . .	232
7.3 Werkstoffe für hohe und tiefe Temperaturen . . . . .	233
7.3.1 Werkstoffe für hohe Temperaturen . . . . .	234
7.3.2 Werkstoffe für tiefe Temperaturen . . . . .	234
7.4 Normen und Regelwerke . . . . .	236
7.5 Schriftum . . . . .	237
<b>8 Montage von Schraubenverbindungen . . . . .</b>	<b>240</b>
8.1 Einführung . . . . .	240
8.2 Anziehdrehmoment und Vorspannkraft . . . . .	240
8.2.1 Gewindemoment $M_G$ . . . . .	241
8.2.2 Kopfreibungsmoment $M_{KR}$ . . . . .	246
8.2.3 Anziehdrehmoment $M_A$ . . . . .	248
8.2.4 Reibungszahlen	249
8.2.4.1 Einflüsse auf das Reibungsverhalten . . . . .	249
8.2.4.2 Einfluß adhäsiver Verschleißvorgänge auf das Reibungsverhalten . . . . .	255
8.3 Beanspruchung und Haltbarkeit von Schraubenverbindungen beim Anziehen . . . . .	256
8.3.1 Beanspruchung und Haltbarkeit von Schraubenbolzen und Mutter . . . . .	256
8.3.1.1 Beanspruchungszustand . . . . .	256
8.3.1.2 Montagevorspannung . . . . .	257
8.3.1.3 Einschraubtiefe . . . . .	261
8.3.2 Beanspruchung und Haltbarkeit von Kraftangriffsflächen und Montagewerkzeugen . . . . .	261
8.4 Montageverfahren . . . . .	265
8.4.1 Anziehen von Hand . . . . .	269
8.4.2 Anziehen mit Verlängerungsmessung . . . . .	270
8.4.3 Torsionsfreien Anziehen . . . . .	272
8.4.4 Drehmomentgesteuertes Anziehen . . . . .	274
8.4.5 Streckgrenzgesteuertes Anziehen . . . . .	279
8.4.6 Drehwinkelgesteuertes Anziehen . . . . .	284
8.5 Motorisches Anziehen . . . . .	286
8.5.1 Drehschrauber . . . . .	290
8.5.2 Drehschlagschrauber . . . . .	290
8.6 Schriftum . . . . .	291

<b>9 Selbsttäiges Lösen und Sichern von Schraubenverbindungen</b>	294
9.1 Die Bedeutung der Vorspannkraft für die Betriebssicherheit	294
9.2 Ursachen eines Vorspannkraftverlusts	295
9.2.1 Lockern	295
9.2.2 Selbsttäiges Losdrehen	296
9.3 Maßnahmen zur Vermeidung eines unzulässig großen Vorspannkraftverlusts	298
9.3.1 Sicherungsmaßnahmen gegen Lockern	298
9.3.1.1 Konstruktive Maßnahmen	298
9.3.1.2 Mitverspannte federnde Elemente	300
9.3.2 Sicherungsmaßnahmen gegen Losdrehen	301
9.3.2.1 Konstruktive Maßnahmen	301
9.3.2.2 Zusätzliche Sicherungselemente bzw. -maßnahmen	302
9.3.2.3 Funktionsprüfung von Losdrehssicherungen	303
9.4 Wirksamkeit und Anwendungsgrenzen von Schraubensicherungen	305
9.5 Schrifttum	306
<b>Sachverzeichnis</b>	309