



## Tabellen und Formelsammlung

## Maschinenelemente

# Maschinenelemente

## Inhaltsverzeichnis

### Maschinenelemente

### Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1 - Maschinenelemente und Konstruktion Einleitung 11

Kapitel 2 - Normen, Toleranzen, Passungen und Oberflächen 15

Kapitel 3 - Grundlagen der Festigkeitslehre 29

3.1 Ermittlung von Lasten und Beanspruchungen 30

3.1.1 Normalspannungen 31

3.1.2 Schubspannungen 37

3.1.3 Knickung 38

3.1.4 Zusammengesetzte Beanspruchungen 40

3.2 Ermittlung der Beanspruchbarkeit 42

3.3 Formzahldiagramme für Flach- und Rundstäbe 48

3.4 Festigkeitsberechnung Vergleich von Beanspruchung und Beanspruchbarkeit 57

Kapitel 4 - Kleben 61

4.1 Beanspruchungen von Klebverbindungen 62

4.2 Beanspruchbarkeit einer Klebverbindung 64

Kapitel 5 - Löten 67

Kapitel 6 - Nieten 71

6.1 Herstellung und Gestaltung von Nietverbindungen 72

6.2 Berechnung der Beanspruchungen in Nietverbindungen 74

6.3 Beanspruchbarkeit einer Nietverbindung 75

Kapitel 7 - Schweißen 79

7.1 Schweißbeignung der Werkstoffe 80

7.2 Festigkeit von Schweißverbindungen 80

7.2.1 Festigkeitsnachweis im allgemeinen Maschinenbau 80

# Inhaltsverzeichnis

7.2.2 Festigkeitsnachweis nach DIN 15018 (Kranbau und Stahlbau) 89

7.2.3 Festigkeitsnachweis von Pressschweißverbindungen 94

## **Kapitel 8 - Schrauben und Schraubenverbindungen 99**

8.1 Grundlagen 100

8.2 Kräfte und Momente im Gewinde 102

8.3 Beanspruchung von Schraubenverbindungen 105

8.3.1 Grundlagen 105

8.3.2 Schraubenbelastung bei statischer Betriebskraft als Längskraft 107

8.3.3 Schraubenbelastung bei dynamischer Betriebskraft als Längskraft 108

8.3.4 Einfluss der Krafteinleitung 109

8.3.5 Setzen der Verbindung 110

8.3.6 Kräfte und Verformungen bei statischer oder dynamischer Querkraft 111

8.3.7 Quer beanspruchte Schraubenverbindungen (Stahlbau) 113

8.3.8 Gleitfeste Verbindungen (GV-Verbindungen) im Stahlbau 113

8.3.9 Verbindungen mit hochfesten Passschrauben (GVP) 115

8.4 Montage von Schraubenverbindungen 115

8.4.1 Streuung der Montagevorspannkraft beim Anziehen 115

8.4.2 Kräfte und Momente beim Anziehen und Lösen 116

8.5 Festigkeit von Schraubenverbindungen 118

8.5.1 Grundsätzliche Vorgehensweise 118

8.5.2 Überschlägige Berechnung nach VDI 2230 119

8.5.3 Schraubenauswahl und Beanspruchbarkeit im Maschinenbau 120

8.5.4 Einhaltung der maximal zulässigen Schraubenkraft 122

8.5.5 Einhaltung der maximal zulässigen Dauerschwingbeanspruchung 122

8.5.6 Einhaltung der Flächenpressung an der Schraubenkopf und Mutterauflage  
sowie im Gewinde 125

8.5.7 Beanspruchbarkeit von Schrauben im Kran- und Stahlbau (als Überschrift  
formatieren) 126

8.6 Bewegungsschrauben und Spindeln 129

8.6.1 Kinematik der Bewegungsschraube 129

8.6.2 Auslegung und Berechnung von Spindel und Mutter 130

## **Kapitel 9 - Stift-, Bolzenverbindungen und Sicherungselemente 135**

9.1 Beanspruchungen in der Stiftverbindung 136

# Inhaltsverzeichnis

- 9.1.1 Steckstift unter Biegekraft  $F$  136
- 9.1.2 Querstiftverbindung unter Drehmoment  $M_t$  137
- 9.1.3 Längsstiftverbindung unter Drehmoment  $M_t$  138

## 9.2 Beanspruchungen in der Bolzenverbindung 139

- 9.2.1 Bolzenverbindung im Maschinenbau 139
- 9.2.2 Bolzenverbindung im Stahlbau 142

## 9.3 Beanspruchbarkeit von Stift- und Bolzenverbindungen 145

## 9.4 Beanspruchbarkeit von Sicherungselementen 147

## Kapitel 10 - Federn 149

### 10.1 Allgemeine Größen zur Auslegung von Federn 150

### 10.2 Beanspruchungen von Zug-Druckfedern 152

- 10.2.1 Stabfedern 152
- 10.2.2 Ringfedern 153

### 10.3 Beanspruchungen von Biegefedern 155

- 10.3.1 Blattfedern 155
- 10.3.2 Schraubendreh- und Spiralfedern 156
- 10.3.3 Tellerfedern 158

### 10.4 Beanspruchungen von Torsions-(Dehnungs-)federn 161

- 10.4.1 Drehstabfedern 161
- 10.4.2 Zylindrische Schraubenfedern 163

### 10.5 Gummifedern 171

### 10.6 Festigkeit von Federn 175

- 10.6.1 Beanspruchbarkeit von Gummifedern 181

## Kapitel 11 - Wellen und Achsen 183

### 11.1 Entwurfsrechnung 184

### 11.2 Dauerfestigkeitsnachweis nach DIN 743 186

### 11.3 Sicherheitsnachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze und Gewaltbruch 200

### 11.4 Kerbformzahlen 202

### 11.5 Nachweis der Einhaltung der zulässigen Verformung 206

### 11.6 Dynamisches Verhalten von Achsen und Wellen 208

- 11.6.1 Biegeschwingungen 208
- 11.6.2 Torsionsschwingungen 209

# **Inhaltsverzeichnis**

11.6.3 Auswuchten 211

## **Kapitel 12 - Welle-Nabe-Verbindungen 213**

12.1 Formschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen 215

12.2 Reibschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen 217

## **Kapitel 13 - Kupplungen und Bremsen 225**

13.1 Auslegung von nicht schaltbaren Kupplungen 226

13.2 Auslegung von schaltbaren Kupplungen 228

13.3 Auslegung von mechanischen Bremsen 229

## **Kapitel 14 - Gleitlager und Gleitlagerungen 233**

14.1 Funktion und Wirkung von Gleitlagern 234

14.2 Beanspruchung und Beanspruchbarkeit 235

14.2.1 Radial-Kreiszylinderlager (hydrodynamische Schmierung) 236

14.2.2 Axial-Kippsegmentlager bei hydrodynamischer Schmierung 244

14.2.3 Radial-Gleitlager bei hydrostatischer Schmierung 246

## **Kapitel 15 - Wälzlager und Wälzlagerungen 251**

15.1 Gestaltung von Wälzlagern 252

15.2 Berechnung von Wälzlagern 252

15.2.1 Statische Tragfähigkeit 252

15.2.2 Dynamische Tragfähigkeit 255

15.3 Wälzlagerschäden und ihre Diagnose 265

## **Kapitel 16 - Dichtungen und Dichtverbindungen 267**

## **Kapitel 17 - Antriebssysteme und Getriebe 275**

17.1 Allgemeine Berechnungsgleichungen 276

17.2 Modellbildung von Antriebssystemen 278

17.2.1 Reduktion mechanischer Eigenschaften komplexer Gesamtsysteme 278

17.2.2 Dämpfung 280

17.3 Anwendungsbereiche von Getrieben 282

17.4 Rad-Schiene-System als spezielles reibschlüssiges Getriebe 283

## **Kapitel 18 - Stirnradverzahnung und Stirnradgetriebe 291**

18.1 Geometrische Grundgrößen von Gerad- und

Schrägverzahnungen 292

# Inhaltsverzeichnis

18.2 Kräfte an Stirnrädern 298

18.3 Tragfähigkeitsnachweis 302

18.3.1 Nachweis der Grübchentragfähigkeit 302

18.3.2 Nachweis der Zahnfußtragfähigkeit 306

18.3.3 Nachweis der Sicherheit gegen Maximalbelastung an der Zahnflanke 312

18.3.4 Nachweis der Sicherheit gegen Maximalbelastung am Zahnfuß 313

18.3.5 Nachweis der Fresstragfähigkeit 313

18.4 Beanspruchbarkeit von Stirnrädern 318

18.5 Schwingungen und Geräusche von Zahnradgetrieben 324

## Kapitel 19 - Umlaufrädergetriebe 327

19.1 Funktion und Wirkung 328

19.2 Standübersetzung und Standwirkungsgrad 330

19.3 Drehzahlen und Umlaufübersetzungen 330

19.4 Drehmomente, Leistungen und Wirkungsgrad 334

19.5 Gekoppelte Umlaufrädergetriebe 338

19.5.1 Reihen-Umlaufgetriebe 338

19.5.2 Parallel-Umlaufgetriebe 339

19.5.3 Umlauf-Koppelgetriebe 339

19.6 Belastungen und Beanspruchungen 339

19.6.1 Kräfte am Umlaufrädergetriebe 339

19.7 Sicherheitsberechnung gegen Dauerbruch von Hohlradern nach VDI  
2737 341

19.7.1 Sicherheit SF gegen Dauerbruch 341

19.7.2 Sicherheit gegen Schäden infolge Anriss, bleibender Verformung und  
Gewaltbruch 350

## Kapitel 20 - Kegelradverzahnung und Kegelradgetriebe 351

20.1 Allgemeines 352

20.2 Geometrie der Kegelradverzahnung 353

20.3 Geometrie der virtuellen Ersatz-Stirnräder (Näherung nach Tredgold) 358

20.4 Geometrie der Hypoidverzahnung und zugehöriger  
Ersatz-Verzahnungen 363

20.5 Verlustleistung und Wirkungsgrad 367

20.6 Zahndicke und Flankenspiel 367

# Inhaltsverzeichnis

## 20.7 Beanspruchung und Beanspruchbarkeit von Kegelnrädern 368

20.7.1 Kräfte, Momente, Lastkollektive und Lastverteilungsfaktoren 368

## 20.8 Tragfähigkeitsnachweis 370

20.8.1 Nachweis der Gröbchentrugfähigkeit 370

20.8.2 Nachweis der Zahnfußtragfähigkeit 372

20.8.3 Nachweis der Sicherheit gegen Maximalbelastung 375

## Kapitel 21 - Schneckenverzahnung und Schneckengetriebe 377

21.1 Geometrie der Schnecken und Schneckenräder 378

21.2 Geschwindigkeiten und spezifisches Gleiten 379

21.3 Verluste, Wirkungsgrad, Erwärmung und Schmierung 379

21.4 Entwurf und Vorauslegung von Schneckengetrieben 380

21.5 Beanspruchung und Beanspruchbarkeit 380

21.5.1 Nachweis der Gröbchentrugfähigkeit 381

21.5.2 Nachweis der Einhaltung der zulässigen Durchbiegung 383

21.5.3 Nachweis der Zahnfußtragfähigkeit 384

## Kapitel 22 - Hüllgetriebe Riemen- und Kettengetriebe 387

22.1 Einleitung 388

22.2 Riemengetriebe 389

22.2.1 Allgemeine Gestaltungshinweise 389

22.2.2 Allgemeine Berechnungsgrundlagen 389

22.2.3 Auslegung von Flachriemengetrieben 393

22.2.4 Auslegung von Keilriemen- und Keilrippengetrieben 393

22.2.5 Auslegung von Zahnriemengetrieben 395

22.3 Kettengetriebe 396

## Anhang A - Werkstoffe 401

A.1 Festigkeitswerte für Stähle 402

A.2 Festigkeitswerte für Gusseisenwerkstoffe 404

A.3 Festigkeitskennwerte für die Auslegung 407

## Kapitel 1 - Maschinenelemente und Konstruktion Einleitung

## Kapitel 2 - Normen, Toleranzen, Passungen und Oberflächen



# **Inhaltsverzeichnis**

## **Kapitel 3 - Grundlagen der Festigkeitslehre**

### **3.1 Ermittlung von Lasten und Beanspruchungen**

#### **3.1.1 Normalspannungen**

#### **3.1.2 Schubspannungen**

#### **3.1.3 Knickung**

#### **3.1.4 Zusammengesetzte Beanspruchungen**

### **3.2 Ermittlung der Beanspruchbarkeit**

### **3.3 Formzahldiagramme für Flach- und Rundstäbe**

### **3.4 Festigkeitsberechnung Vergleich von Beanspruchung und Beanspruchbarkeit**

## **Kapitel 4 - Kleben**

### **4.1 Beanspruchungen von Klebverbindungen**

### **4.2 Beanspruchbarkeit einer Klebverbindung**

## **Kapitel 5 - Löten**

## **Kapitel 6 - Nieten**

### **6.1 Herstellung und Gestaltung von Nietverbindungen**

### **6.2 Berechnung der Beanspruchungen in Nietverbindungen**

### **6.3 Beanspruchbarkeit einer Nietverbindung**

## **Kapitel 7 - Schweißen**

### **7.1 Schweißbeignung der Werkstoffe**

### **7.2 Festigkeit von Schweißverbindungen**

#### **7.2.1 Festigkeitsnachweis im allgemeinen Maschinenbau**

#### **7.2.2 Festigkeitsnachweis nach DIN 15018 (Kranbau und Stahlbau)**

#### **7.2.3 Festigkeitsnachweis von Pressschweißverbindungen**

## **Kapitel 8 - Schrauben und Schraubenverbindungen**

### **8.1 Grundlagen**

### **8.2 Kräfte und Momente im Gewinde**

### **8.3 Beanspruchung von Schraubenverbindungen**

# Inhaltsverzeichnis

## 8.3.1 Grundlagen

## 8.3.2 Schraubenbelastung bei statischer Betriebskraft als Längskraft

## 8.3.3 Schraubenbelastung bei dynamischer Betriebskraft als Längskraft

## 8.3.4 Einfluss der Krafteinleitung

## 8.3.5 Setzen der Verbindung

## 8.3.6 Kräfte und Verformungen bei statischer oder dynamischer Querkraft

## 8.3.7 Quer beanspruchte Schraubenverbindungen (Stahlbau)

## 8.3.8 Gleitfeste Verbindungen (GV-Verbindungen) im Stahlbau

## 8.3.9 Verbindungen mit hochfesten Passschrauben (GVP)

## 8.4 Montage von Schraubenverbindungen

### 8.4.1 Streuung der Montagevorspannkraft beim Anziehen

### 8.4.2 Kräfte und Momente beim Anziehen und Lösen

## 8.5 Festigkeit von Schraubenverbindungen

### 8.5.1 Grundsätzliche Vorgehensweise

### 8.5.2 Überschlägige Berechnung nach VDI 2230

### 8.5.3 Schraubenauswahl und Beanspruchbarkeit im Maschinenbau

### 8.5.4 Einhaltung der maximal zulässigen Schraubenkraft

### 8.5.5 Einhaltung der maximal zulässigen Dauerschwingbeanspruchung

### 8.5.6 Einhaltung der Flächenpressung an der Schraubenkopf- und Mutterauflage sowie im Gewinde

### 8.5.7 Beanspruchbarkeit von Schrauben im Kran- und Stahlbau (als Überschrift formatieren)

## 8.6 Bewegungsschrauben und Spindeln

### 8.6.1 Kinematik der Bewegungsschraube

### 8.6.2 Auslegung und Berechnung von Spindel und Mutter

## Kapitel 9 - Stift-, Bolzenverbindungen und Sicherungselemente

## 9.1 Beanspruchungen in der Stiftverbindung

### 9.1.1 Steckstift unter Biegekraft $F$

### 9.1.2 Querstiftverbindung unter Drehmoment $M_t$

# Inhaltsverzeichnis

9.1.3 Längsstiftverbindung unter Drehmoment  $M_t$

## 9.2 Beanspruchungen in der Bolzenverbindung

9.2.1 Bolzenverbindung im Maschinenbau

9.2.2 Bolzenverbindung im Stahlbau

## 9.3 Beanspruchbarkeit von Stift- und Bolzenverbindungen

## 9.4 Beanspruchbarkeit von Sicherungselementen

## Kapitel 10 - Federn

### 10.1 Auswuchten Allgemeine Größen zur Auslegung von Federn

### 10.2 Beanspruchungen von Zug-Druckfedern

10.2.1 Stabfedern

10.2.2 Ringfedern

### 10.3 Beanspruchungen von Biegefedern

10.3.1 Blattfedern

10.3.2 Schraubendreh- und Spiralfedern

10.3.3 Tellerfedern

### 10.4 Beanspruchungen von Torsions- (Dehnungs-)federn

10.4.1 Drehstabfedern

10.4.2 Zylindrische Schraubenfedern

### 10.5 Gummifedern

### 10.6 Festigkeit von Federn

10.6.1 Beanspruchbarkeit von Gummifedern

## Kapitel 11 - Wellen und Achsen

### 11.1 Entwurfsrechnung

### 11.2 Dauerfestigkeitsnachweis nach DIN 743

### 11.3 Sicherheitsnachweis gegen Überschreiten der Fließgrenze und Gewaltbruch

### 11.4 Kerbformzahlen

### 11.5 Nachweis der Einhaltung der zulässigen Verformung

### 11.6 Dynamisches Verhalten von Achsen und Wellen

# **Inhaltsverzeichnis**

11.6.1 Biegeschwingungen

11.6.2 Torsionsschwingungen

11.6.3 Auswuchten

## **Kapitel 12 - Welle-Nabe-Verbindungen**

12.1 Formschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen

12.2 Reibschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen

## **Kapitel 13 - Kupplungen und Bremsen**

13.1 Auslegung von nicht schaltbaren Kupplungen

13.2 Auslegung von schaltbaren Kupplungen

13.3 Auslegung von mechanischen Bremsen

## **Kapitel 14 - Gleitlager und Gleitlagerungen**

14.1 Funktion und Wirkung von Gleitlagern

14.2 Beanspruchung und Beanspruchbarkeit

14.2.1 Radial-Kreiszylinderlager (hydrodynamische Schmierung)

14.2.2 Axial-Kippsegmentlager bei hydrodynamischer Schmierung

14.2.3 Radial-Gleitlager bei hydrostatischer Schmierung

## **Kapitel 15 - Wälzlager und Wälzlagerungen**

15.1 Gestaltung von Wälzlagern

15.2 Berechnung von Wälzlagern

15.2.1 Statische Tragfähigkeit

15.2.2 Dynamische Tragfähigkeit

15.3 Wälzlagerschäden und ihre Diagnose

## **Kapitel 16 - Dichtungen und Dichtverbindungen**

## **Kapitel 17 - Antriebssysteme und Getriebe**

17.1 Allgemeine Berechnungsgleichungen

17.2 Modellbildung von Antriebssystemen

17.2.1 Reduktion mechanischer Eigenschaften komplexer Gesamtsysteme

17.2.2 Dämpfung

# Inhaltsverzeichnis

17.3 Anwendungsbereiche von Getrieben

17.4 Rad-Schiene-System als spezielles reibschlüssiges  
Getriebe

## Kapitel 18 - Stirnradverzahnung und Stirnradgetriebe

18.1 Geometrische Grundgrößen von Gerad- und  
Schrägverzahnungen

18.2 Kräfte an Stirnrädern

18.3 Tragfähigkeitsnachweis

18.3.1 Nachweis der Grübchentragfähigkeit

18.3.2 Nachweis der Zahnfußtragfähigkeit

18.3.3 Nachweis der Sicherheit gegen Maximalbelastung an der  
Zahnflanke

18.3.4 Nachweis der Sicherheit gegen Maximalbelastung am Zahnfuß

18.3.5 Nachweis der Fresstragfähigkeit

18.4 Beanspruchbarkeit von Stirnrädern

18.5 Schwingungen und Geräusche von Zahnradgetrieben

## Kapitel 19 - Umlaufrädergetriebe

19.1 Funktion und Wirkung

19.2 Standübersetzung und Standwirkungsgrad

19.3 Drehzahlen und Umlaufübersetzungen

19.4 Drehmomente, Leistungen und Wirkungsgrad

19.5 Gekoppelte Umlaufrädergetriebe

19.5.1 Reihen-Umlaufgetriebe

19.5.2 Parallel-Umlaufgetriebe

19.5.3 Umlauf-Koppelgetriebe

19.6 Belastungen und Beanspruchungen

19.6.1 Kräfte am Umlaufrädergetriebe

19.7 Sicherheitsberechnung gegen Dauerbruch von Hohlrädern  
nach VDI 2737

# **Inhaltsverzeichnis**

19.7.1 Sicherheit SF gegen Dauerbruch

19.7.2 Sicherheit gegen Schäden infolge Anriss, bleibender  
Verformung und Gewaltbruch

## **Kapitel 20 - Kegelradverzahnung und Kegelradgetriebe**

20.1 Allgemeines

20.2 Geometrie der Kegelradverzahnung

20.3 Geometrie der virtuellen Ersatz-Stirnräder (Näherung nach  
Tredgold)

20.4 Geometrie der Hypoidverzahnung und zugehöriger  
Ersatz-Verzahnungen

20.5 Verlustleistung und Wirkungsgrad

20.6 Zahndicke und Flankenspiel

20.7 Beanspruchung und Beanspruchbarkeit von Kegelrädern

20.7.1 Kräfte, Momente, Lastkollektive und Lastverteilungsfaktoren

20.8 Tragfähigkeitsnachweis

20.8.1 Nachweis der Grübchentragfähigkeit

20.8.2 Nachweis der Zahnfußtragfähigkeit

20.8.3 Nachweis der Sicherheit gegen Maximalbelastung

## **Kapitel 21 - Schneckenverzahnung und Schneckengetriebe**

21.1 Geometrie der Schnecken und Schneckenräder

21.2 Geschwindigkeiten und spezifisches Gleiten

21.3 Verluste, Wirkungsgrad, Erwärmung und Schmierung

21.4 Entwurf und Vorauslegung von Schneckengetrieben

21.5 Beanspruchung und Beanspruchbarkeit

21.5.1 Nachweis der Grübchentragfähigkeit

21.5.2 Nachweis der Einhaltung der zulässigen Durchbiegung

21.5.3 Nachweis der Zahnfußtragfähigkeit

## **Kapitel 22 - Hüllgetriebe Riemen- und Kettengetriebe**

22.1 Einleitung

# **Inhaltsverzeichnis**

## **22.2 Riemengetriebe**

22.2.1 Allgemeine Gestaltungshinweise

22.2.2 Allgemeine Berechnungsgrundlagen

22.2.3 Auslegung von Flachriemengetrieben

22.2.4 Auslegung von Keilriemen- und Keilrippengetrieben

22.2.5 Auslegung von Zahnriemengetrieben

## **22.3 Kettengetriebe**

## **Anhang A - Werkstoffe**

A.1 Festigkeitswerte für Stähle

A.2 Festigkeitswerte für Gusseisenwerkstoffe

A.3 Festigkeitskennwerte für die Auslegung

Ins Internet: Weitere Infos zum Buch, Downloads, etc.

Copyright

# Copyright

Daten, Texte, Design und Grafiken dieses eBooks, sowie die eventuell angebotenen eBook-Zusatzdaten sind urheberrechtlich geschützt. Dieses eBook stellen wir lediglich als **persönliche Einzelplatz-Lizenz** zur Verfügung!

Jede andere Verwendung dieses eBooks oder zugehöriger Materialien und Informationen, einschließlich

- der Reproduktion,
- der Weitergabe,
- des Weitervertriebs,
- der Platzierung im Internet, in Intranets, in Extranets,
- der Veränderung,
- des Weiterverkaufs und
- der Veröffentlichung

bedarf der **schriftlichen Genehmigung** des Verlags. Insbesondere ist die Entfernung oder Änderung des vom Verlag vergebenen Passwortschutzes ausdrücklich untersagt!

Bei Fragen zu diesem Thema wenden Sie sich bitte an: [info@pearson.de](mailto:info@pearson.de)

## Zusatzdaten

Möglicherweise liegt dem gedruckten Buch eine CD-ROM mit Zusatzdaten bei. Die Zurverfügungstellung dieser Daten auf unseren Websites ist eine freiwillige Leistung des Verlags. **Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.**

## Hinweis

Dieses und viele weitere eBooks können Sie rund um die Uhr und legal auf unserer Website herunterladen:

**<http://ebooks.pearson.de>**