

# AD 2000-Merkblatt

ICS 23.020.30

Ausgabe Juli 2012

Berechnung  
von  
Druckbehältern

## Einwandige Balgkompensatoren

AD 2000-Merkblatt  
B 13

Die AD 2000-Merkblätter werden von den in der „Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter“ (AD) zusammenarbeitenden, nachstehend genannten sieben Verbänden aufgestellt. Aufbau und Anwendung des AD 2000-Regelwerkes sowie die Verfahrensrichtlinien regelt das AD 2000-Merkblatt G1.

Die AD 2000-Merkblätter enthalten sicherheitstechnische Anforderungen, die für normale Betriebsverhältnisse zu stellen sind. Sind über das normale Maß hinausgehende Beanspruchungen beim Betrieb der Druckbehälter zu erwarten, so ist diesen durch Erfüllung besonderer Anforderungen Rechnung zu tragen.

Wird von den Forderungen dieses AD 2000-Merkblattes abgewichen, muss nachweisbar sein, dass der sicherheitstechnische Maßstab dieses Regelwerkes auf andere Weise eingehalten ist, z. B. durch Werkstoffprüfungen, Versuche, Spannungsanalyse, Betriebserfahrungen.

Fachverband Dampfkessel-, Behälter- und Rohrleitungsbau e. V. (FDBR), Düsseldorf

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin

Verband der Chemischen Industrie e. V. (VCI), Frankfurt/Main

Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA), Fachgemeinschaft Verfahrenstechnische Maschinen und Apparate, Frankfurt/Main

Stahlinstitut VDEh, Düsseldorf

VGB PowerTech e. V., Essen

Verband der TÜV e. V. (VdTÜV), Berlin

Die AD 2000-Merkblätter werden durch die Verbände laufend dem Fortschritt der Technik angepasst. Anregungen hierzu sind zu richten an den Herausgeber:

**Verband der TÜV e. V., Friedrichstraße 136, 10117 Berlin.**

### Inhalt

	Seite
0 Präambel .....	2
1 Geltungsbereich.....	2
2 Allgemeines .....	2
3 Formelzeichen und Einheiten .....	3
4 Sicherheitsbeiwert .....	4
5 Zuschläge .....	4
6 Berechnung .....	4
7 Schrifttum.....	9
Anhang 1: Erläuterungen .....	34

Ersatz für Ausgabe Februar 2010; | = Änderungen gegenüber der vorangehenden Ausgabe

Die AD 2000-Merkblätter sind urheberrechtlich geschützt. Die Nutzungsrechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, die Wiedergabe auf fotomechanischem Wege und die Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei auszugsweiser Verwertung, dem Urheber vorbehalten.

# AD 2000-Merkblatt

Seite 2 AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012

## 0 Präambel

Zur Erfüllung der grundlegenden Sicherheitsanforderungen der Druckgeräte-Richtlinie kann das AD 2000-Regelwerk angewandt werden, vornehmlich für die Konformitätsbewertung nach den Modulen „G“ und „B + F“.

Das AD 2000-Regelwerk folgt einem in sich geschlossenen Auslegungskonzept. Die Anwendung anderer technischer Regeln nach dem Stand der Technik zur Lösung von Teilproblemen setzt die Beachtung des Gesamtkonzeptes voraus.

Bei anderen Modulen der Druckgeräte-Richtlinie oder für andere Rechtsgebiete kann das AD 2000-Regelwerk sinngemäß angewandt werden. Die Prüfzuständigkeit richtet sich nach den Vorgaben des jeweiligen Rechtsgebietes.

## 1 Geltungsbereich

Die nachstehenden Berechnungsgrundlagen gelten für metallische<sup>1)</sup> einwandige Balgkompensatoren mit parallelen oder leicht lyraförmig gebogenen Wellenflanken (Bilder 1 und 2) in folgenden Grenzen:

$$3 \leq d/h \leq 100$$

$$0,1 \leq r/h \leq 0,5$$

$$0,018 \leq s/h \leq 0,1$$

Hinweise für die Berechnung von Balgkompensatoren außerhalb des genannten Geltungsbereiches (Mehrlagigkeit, Geometrieparameter) können z. B. [1, 2, 3, 4, 5, 6] entnommen werden.

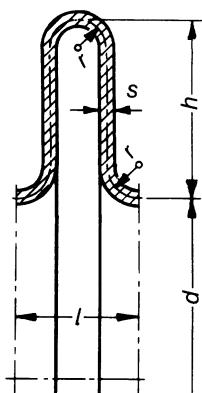


Bild 1 — Balgkompensator mit parallelen Wellenflanken

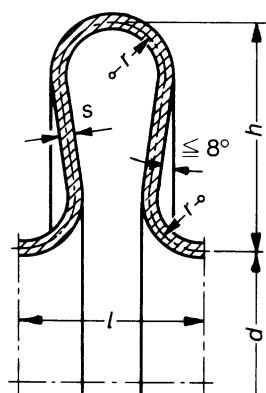
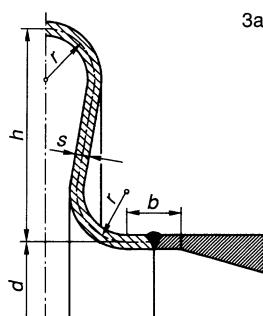
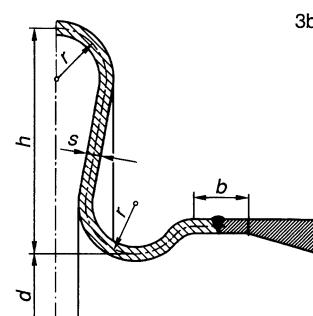


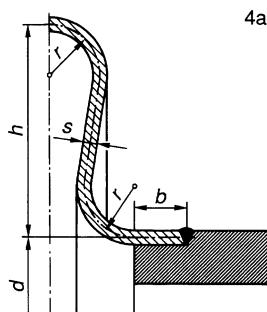
Bild 2 — Balgkompensator mit leicht lyraförmig gebogenen Wellenflanken  
(Flankenwinkel  $\leq 8^\circ$ )



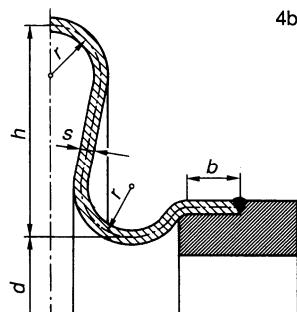
3a



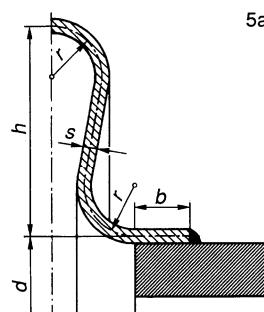
3b



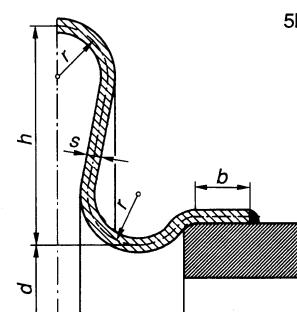
4a



4b



5a



5b

Bild 4 — Eingelassene Stumpfnaht

Bild 5 — Überlappnaht

## 2 Allgemeines

2.1 Dieses AD 2000-Merkblatt ist nur im Zusammenhang mit AD 2000-Merkblatt B 0 anzuwenden.

2.2 Dieses AD 2000-Merkblatt berücksichtigt Balgkompensatoren, die durch Druck und Zwangsbewegung (axial, angular und lateral) beansprucht werden und im Betrieb einer Wechselbeanspruchung unterliegen.

1) Siehe Erläuterungen im Anhang 1 zu diesem AD 2000-Merkblatt.

# AD 2000-Merkblatt

AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012 Seite 3

**2.3** Kompensatorbälge sind nicht für die Aufnahme nennenswerter Kräfte und Momente geeignet. Deshalb ist durch konstruktive Maßnahmen wie z. B. Führungen, Einbauten, Stützkonstruktionen sicherzustellen, dass derartige Belastungen vom Kompensatorbalg ferngehalten werden. Da jedoch Torsionsmomente nicht in allen Fällen vermieden werden können, sind in diesem Merkblatt Beziehungen zu ihrer Berücksichtigung enthalten.

**2.4** Kompensatorbälge können durch stumpfgeschweißte Rundnähte mit den anschließenden Bauteilen verschweißt werden (Bild 3). Bei Wanddickenunterschieden zwischen Kompensatorbalg und Anschlussstücken sind die Abschnitte 2.7 und 2.8 des AD 2000-Merkblattes HP 5/1 zu beachten.

Auch andere als stumpfgeschweißte Verbindungen, z. B. nach den Bildern 4 und 5, sind zulässig.

**2.5** Wenn mit Korrosionen zu rechnen ist, muss für den Kompensatorbalg ein im Hinblick auf Korrosionen geeigneter Werkstoff zwischen Hersteller und Besteller/Betreiber vereinbart werden. Der Korrosion am Balg durch einen Wanddickenzuschlag zu begegnen, ist nicht zweckmäßig.

**2.6** Der Abstand zwischen Kompensator-Anschweißende und dem Radiusauslauf der Kompensatorkrempe darf nicht kleiner sein als der größte Wert der drei Einzelbeträge  $3s$ , 10 mm und  $0,25\sqrt{d \cdot s}$ , wenn eine Berücksichtigung der Schweißnaht bei der Ermüdungsbetrachtung unterbleiben soll.

$$\text{Zusätzlich gilt } b \leq \frac{1}{2}\sqrt{d \cdot s}$$

## 3 Formelzeichen und Einheiten

Über die Festlegungen des AD 2000-Merkblattes B 0 hinaus gilt:

$b$	zylindrische Balgbordlänge	mm
$c_\alpha$	Biegefederkonstante einer Balgwelle	Nm/Grad
$c_w$	Axialfederkonstante einer Balgwelle	N/mm
$C_f$	Berechnungsbeiwert für Säuleninstabilität	–
$C_p$	Berechnungsbeiwert für Welleninstabilität	–
$d$	mittlerer Innendurchmesser eines Kompensators	mm
$c'_\lambda$	Lateralfederkonstante eines Kompensatorbalges oder eines Kompensators aus zwei gleichen Bälgen mit Zwischenrohr	N/mm
$d_i$	Innendurchmesser der Innenwelle ( $d - s$ )	mm
$d_m$	mittlerer Durchmesser des Kompensators ( $d + h$ )	mm
$f_1$	Wechselfestigkeitsbeiwert für Rundnähte im Balg	–
$f_2$	Kennwert für teilplastische Verformung	–
$h$	Wellenhöhe	mm
$I_{xx}$	Flächenträgheitsmoment einer Welle	mm <sup>4</sup>
$l$	Wellenlänge, gemessen in neutraler Lage	mm
$n$	hier: Stützziffer	–
$n_1$	Stützziffer bei Verwendung der 1%-Dehgrenze	–
$n_{0,2}$	Stützziffer bei Verwendung der 0,2%-Dehgrenze	–
$r$	Krempenradius (bei unterschiedlichen Radien an der Innen- bzw. Außenkrempe gilt das arithmetische Mittel)	mm
$s^*$	Berechnungswanddicke nach der Umformung	mm
$s_{eq}$	Äquivalentwanddicke	mm
$w$	einseitiger Axialweg einer Balgwelle, gemessen aus der neutralen Lage	mm
$w_\alpha$	äquivalenter Axialweg einer Balgwelle für den Biegewinkel $\alpha$	mm
$w_\lambda$	äquivalenter Axialweg der höchstbeanspruchten Balgwelle für den Lateralweg $\lambda'$ des Kompensators	mm
$z$	Wellenzahl des Kompensatorbalges	–
$z_l$	Wellenzahl eines Kompensatorbalges eines Kompensators aus zwei gleichen Bälgen mit Zwischenrohr	–
$C_3, C_4$	Geometriebeiwerte für Säuleninstabilität	–
$E_{20}$	Elastizitätsmodul bei 20 °C	N/mm <sup>2</sup>
$L_1$	Baulänge eines Kompensatorbalges (Bild 6)	mm
$L_z$	Länge des Zwischenrohres (Bild 6)	mm
$M_T$	auf den Kompensatorbalg wirkendes Torsionsmoment	Nm
$N$	hier: Lastspielzahl	–
$N_{zul}$	zulässige Lastspielzahl	–
$P_{s,c}$	zulässiger Druck aufgrund Säuleninstabilität	bar

# AD 2000-Merkblatt

Seite 4 AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012

$P_{s,i}$	zulässiger Druck aufgrund Welleninstabilität	bar
$R$	hier: Rechenstützwert	–
$R_{(c_w)}$	Rechenstützwert für Axialfederkonstante	–
$R_{(p)}$	Rechenstützwert für Druckbeanspruchung	–
$R_{(w)}$	Rechenstützwert für Axialbeanspruchung	–
$S_{um}$	Sicherheitsbeiwert für die Umfangsspannung	–
$S_{vp}$	Sicherheitsbeiwert für die Vergleichsspannung	–
$\alpha$	hier: einseitiger Biegewinkel einer Balgwelle, gemessen von der geraden Lage aus	Grad
$\beta$	Spannungsfaktor der Welleninstabilität	–
$\delta$	Spannungsverhältnis der Welleninstabilität	–
$\lambda'$	einseitiger Lateralweg eines Kompensators mit einem Balg bzw. mit 2 gleichen Bälgen und Zwischenrohr, gemessen von der geraden Lage aus (Bild 6)	mm
$2 \cdot \varepsilon_{ages}$	effektive Gesamtdehnungsschwingbreite	%
$\Delta\sigma_{vges}$	Gesamtvergleichsspannungsschwingbreite	N/mm <sup>2</sup>
$\Delta\sigma_{v(w)}$	Vergleichsspannungsschwingbreite durch Axialbewegung, z. B. $\Delta\sigma_{v(w)} = 2 \sigma_{v(w)}$ für Axialbewegung $\pm w$	N/mm <sup>2</sup>
$\Delta\sigma_{v(\alpha)}$	Vergleichsspannungsschwingbreite durch Biegung, z. B. $\Delta\sigma_{v(\alpha)} = 2 \sigma_{v(\alpha)}$ für Biegung $\pm \alpha$	N/mm <sup>2</sup>
$\Delta\sigma_{v(\lambda)}$	Vergleichsspannungsschwingbreite durch Lateralbewegung, z. B. $\Delta\sigma_{v(\lambda)} = 2 \sigma_{v(\lambda)}$ für Lateralbewegung $\pm \lambda$	N/mm <sup>2</sup>
$\Delta\sigma_{v(p)}$	Vergleichsspannungsschwingbreite durch wechselnden Überdruck, z. B. $\Delta\sigma_{v(p)} = \sigma_{v(p)}$ für Druckwechsel 0 + p	N/mm <sup>2</sup>
$\Delta\sigma_{v(T)}$	Vergleichsspannungsschwingbreite durch wechselndes Torsionsmoment, z. B. $\Delta\sigma_{v(T)} = 2 \sigma_{v(T)}$ für Torsionsmoment $\pm M_T$	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{um}$	mittlere Umfangsspannung	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_v$	größte Vergleichsspannung	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{v(\alpha)}$	größte Vergleichsspannung durch Biegung	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{v(T)}$	größte Vergleichsspannung durch Torsionsmoment	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{v(p)}$	größte Vergleichsspannung durch inneren oder äußeren Überdruck	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{v(w)}$	größte Vergleichsspannung durch Axialbewegung	N/mm <sup>2</sup>
$\nu$	Poissonzahl	–

## 4 Sicherheitsbeiwert

Abweichend von AD 2000-Merkblatt B 0 gelten die Festlegungen in Abschnitt 6.

## 5 Zuschläge

Abweichend von AD 2000-Merkblatt B 0 Abschnitt 9 werden Zuschläge nicht berücksichtigt.

## 6 Berechnung

Bei Rechnen gegen inneren oder äußeren Überdruck und Torsionsbeanspruchung ist die minimale, und bei Rechnen gegen Axial-, Angular- und Lateralbewegung die maximale Wanddicke des Balges einzusetzen. Minimale und maximale Wanddicke sind hierbei unter Berücksichtigung der Toleranzen entsprechend den Halbzeugnormen gemäß AD 2000-Merkblättern Reihe W einzusetzen, jeweils vermindert bzw. vermehrt um die durch den Umformvorgang ggf. auftretende Wanddickenveränderung.

Zur Berücksichtigung der durch den Umformvorgang ggf. auftretenden Wanddickenveränderung ist von der zuständigen unabhängigen Stelle bei der Berechnung das vom jeweiligen Hersteller verwendete Fertigungsverfahren in Betracht zu ziehen.

Es kann auch der unter Punkt 6.6 angegebene Anhaltswert für die Berechnungswanddicke nach der Umformung verwendet werden.

### 6.1 Spannungen, Federkonstanten

#### 6.1.1 Beanspruchung durch inneren oder äußeren Überdruck

Größte Vergleichsspannung:

$$\sigma_{v(p)} = R_{(p)} \cdot p \quad (1)$$

## 6.1.2 Beanspruchung durch Torsionsmoment

Größte Vergleichsspannung:

$$\sigma_{V(T)} = \frac{4 M_T \cdot 10^3}{\pi d_s^2} \text{ mit } M_T \text{ in Nm} \quad (2)$$

## 6.1.3 Beanspruchung durch Axialbewegung

Größte Vergleichsspannung:

$$\sigma_{V(w)} = 2,4 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{E}{h} \cdot R_{(w)} \cdot w \quad (3)$$

Axialfederkonstante:

$$c_w = 0,15 \cdot 10^{-4} \cdot (d + h) \cdot E \cdot R_{(c_w)} \quad (4)$$

## 6.1.4 Beanspruchung durch Angularbewegung

Die Werte für Biegebeanspruchung lassen sich aus denen der Axialbeanspruchung ermitteln.

Äquivalenter Axialweg der Welle für den Biegewinkel:

$$w_\alpha = \frac{d + 2 h}{1,15 \cdot 10^2} \cdot \alpha \quad (5)$$

Größte Vergleichsspannung:

$$\sigma_{V(\alpha)} = 2,1 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{E}{h} \cdot R_{(w)} \cdot (d + 2 h) \cdot \alpha \quad (6)$$

Biegefederkonstante:

$$c_\alpha = 2,2 \cdot 10^{-6} \cdot (d + 2 h)^2 \cdot c_w \quad (7)$$

## 6.1.5 Beanspruchung durch Lateralbewegung

Abweichend von den Formeln (3) bis (7), die für die Einzelwelle gelten, gelten die Formeln (8) bis (13) für den gesamten Kompensator.

### 6.1.5.1 Lateralkompensator mit einem Balg

Eine laterale Bewegung dieses Kompensators ist nur möglich, wenn der Balg mindestens zweiwellig ausgeführt ist.

Äquivalenter Axialweg der höchstbeanspruchten Welle für den Lateralweg des Kompensators:

$$w_\lambda = 3 \cdot \frac{d + 2 h}{l \cdot z} \cdot \frac{\lambda'}{z} \quad (8)$$

Größte Vergleichsspannung:

$$\sigma_{V(\lambda)} = 2,4 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{E}{h} \cdot R_{(w)} \cdot w_\lambda \quad (9)$$

Lateralfederkonstante des Kompensators:

$$c'_\lambda = \frac{3}{2} \cdot \left( \frac{d + 2 h}{l \cdot z} \right)^2 \cdot \frac{c_w}{z} \quad (10)$$

### 6.1.5.2 Lateralkompensator mit zwei gleichen Bälgen mit ungeführtem Zwischenrohr

Äquivalenter Axialweg der höchstbeanspruchten Welle für den Lateralweg des Kompensators:

$$w_\lambda = \frac{2 \cdot \left( \frac{L_z}{L_1} + 2 \right)}{\left( \frac{L_z}{L_1} \right)^2 + 2 \cdot \frac{L_z}{L_1} + \frac{4}{3}} \cdot \frac{d + 2 h}{2 L_1} \cdot \frac{\lambda'}{2 z_1} \quad (11)$$

Größte Vergleichsspannung:

$$\sigma_{V(\lambda)} = 2,4 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{E}{h} \cdot R_{(w)} \cdot w_\lambda \quad (12)$$

# AD 2000-Merkblatt

Seite 6 AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012

Lateralfederkonstante des Kompensators:

$$c'_\lambda = \frac{2}{\left(\frac{L_z}{L_1}\right)^2 + 2 \cdot \frac{L_z}{L_1} + \frac{4}{3}} \cdot \left(\frac{d+2h}{2L_1}\right)^2 \cdot \frac{c_w}{2z_1} \quad (13)$$

Diese Beziehungen gelten für den Lateralkompensator gemäß Bild 6, bei dem die Kompensatorverankerung nur eine Parallelführung der Kompensatorenenden, jedoch keine Führung des Zwischenrohrs bewirkt.

## 6.1.5.3 Lateralkompensator mit zwei gleichen Bälgen und geführtem Zwischenrohr

Die beiden Einzelbälge sind nach Abschnitt 6.1.4 zu berechnen.

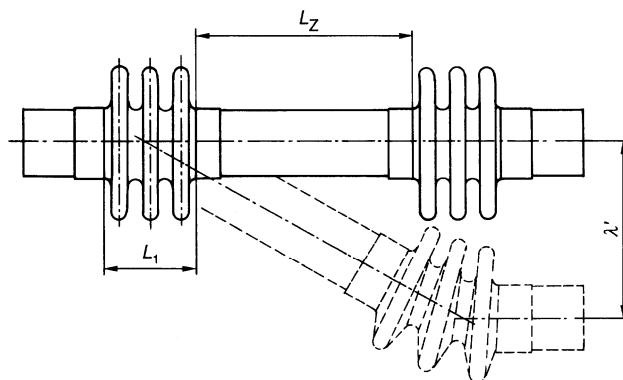


Bild 6 — Lateralkompensator mit Zwischenrohr

## 6.1.6 Rechenstützwerte $R$

Die für die Formeln (1), (3), (4), (6), (9) und (12) benötigten Rechenstützwerte  $R_{(p)}$ ,  $R_{(w)}$  und  $R_{(c_w)}$  sind aus den Tafeln 2 bis 25 für abgestufte Parameter zu entnehmen. Zwischenwerte sind linear zu interpolieren. Siehe hierzu Abschnitt 6.5.

## 6.2 Berechnung gegen statische Beanspruchung

### 6.2.1 Überdruck und Torsion

$$\sigma_{v(T)} \cdot \frac{n}{S_{vp}} \cdot 1,5 + \sigma_{v(p)} \leq \frac{n}{S_{vp}} \cdot K \quad (14)$$

Hierbei ist  $\sigma_{v(p)}$  elastisch zu ermitteln, wie in Abschnitt 6.1.1 angegeben.

Die Stützziffer  $n$  ist mit

$$n_{0,2} = 1,55 - 2,8 \cdot 10^{-4} \cdot K \quad (15)$$

oder  $n_1 = 1,55$  einzusetzen, die Sicherheit mit  $S_{vp} = 1,2$ .

Ferner gilt für die mittlere Umfangsspannung infolge Überdruck und Torsionsmoment

$$\frac{(d+h) \cdot l \cdot p}{40 \cdot s \cdot (1,14 r + h) \cdot v} + \sigma_{v(T)} \leq \frac{K}{S_{um}} \quad (16)$$

mit  $S_{um} = 1,5$

Für den Nachweis im Prüfzustand kann für die Sicherheitsbeiwerte  $S_{vp} = 1,05$  und  $S_{um} = 1,05$  eingesetzt werden (siehe auch AD 2000-Merkblatt B 0, Tafel 2).

### 6.2.2 Nachweise gegen Instabilität

Die im Folgenden aufgeführten Nachweise gelten vorwiegend für Kompensatorbälge mit mehr als einer Welle.

#### 6.2.2.1 Durch Innendruck verursachte Instabilität

Zulässiger Auslegungsdruck gegen **Säuleninstabilität**:

$$P_{s,c} = 3,4 \cdot \frac{\pi^2}{2 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \frac{(d+h) \cdot E}{z^2 \cdot l \cdot c_f} \left( \frac{s^*}{h} \right)^3 \quad (17a)$$

Dabei ist  $c_f$  zu ermitteln nach Anhang 1 unter Berücksichtigung von  $s^*$  nach Abschnitt 6.6.

# AD 2000-Merkblatt

AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012 Seite 7

Zulässiger Auslegungsdruck gegen **Welleninstabilität**:

$$P_{s,i} = 10 \frac{(\pi - 2) \cdot A \cdot R_e^*}{d_m \cdot l \cdot \sqrt{\beta}} \quad (17b)$$

Dabei ist  $R_e^*$  die effektive Streckgrenze des Balgwerkstoffes bei Auslegungstemperatur im umgeformten oder im geglühten Zustand. Wenn in den Werkstoffnormen für  $R_e^*$  keine Werte festgelegt sind, sind für austenitischen Stahl und andere gleichwertige Werkstoffe die folgenden Werte einzusetzen:

- a)  $R_e^* = K_d \cdot R_{p1,0/T}$  für Bälge im umgeformten Zustand (mit Kaltverfestigung)
- b)  $R_e^* = 0,75 \cdot R_{p1,0/T}$  für geglühte Bälge (ohne Kaltverfestigung)

Dabei ist

$R_{p1,0/T}$  die 1-%-Dehngrenze bei Auslegungstemperatur

$K_d$  der Verfestigungsfaktor

$1 + 5 \cdot s_d$  wenn  $s_d \leq 0,2$

$K_d = 2,0$  wenn  $s_d > 0,2$

Für nicht austenitischen Stahl ist  $R_e^* = R_{p0,2/T}$ .

Der Umformgrad  $s_d$  hängt ab von der Biegekomponente  $s_b$  und der Umfangskomponente  $s_\theta$ :

$$s_d = 1,04 \cdot \sqrt{(s_\theta^2 + s_b^2)}$$

$$s_b = \ln [1 + s/(2 r + s)]$$

Maßgebend für die Umfangskomponente ist das gewählte Umformverfahren:

- Für hydraulische oder ähnliche Verfahren, bei denen die Umformung vom Ausgangszylinder ausgehend zu 100 % nach außen erfolgt:

$$s_\theta = \ln [1 + 2 \cdot h/d_i]$$

- Für Rollformverfahren mit Umformung 50 % nach innen und 50 % nach außen vom Ausgangszylinder ausgehend:

$$s_\theta = \ln [1 + h/d_i]$$

- Für Halbwellen, hergestellt durch Rollbiegen oder andere Verfahren aus Kreisringplatten mit dem maximalen Umformgrad an der Innenkrempe:

$$s_\theta = -\ln \left[ 1 - \frac{(\pi/2 - 1) \cdot (2 \cdot r + s)}{(d_i + s)} \right]$$

mit

$$\beta = 1 + 2 \cdot \delta^2 + \sqrt{(1 - 2 \cdot \delta^2 + 4 \cdot \delta^4)}$$

und

$$\delta = \frac{A \cdot C_p}{3 \cdot d_m \cdot l} \cdot \left( \frac{h}{s^*} \right)^2$$

mit  $C_p$  nach Anhang 1 unter Berücksichtigung von  $s^*$  nach Abschnitt 6.6

und

$$A = [(\pi - 2)/2 \cdot l + 2 \cdot h] \cdot s^*$$

## 6.2.2.2 Durch Außendruck verursachte Instabilität

Das Instabilitätsverhalten in Umfangsrichtung eines Kompensatorbalges mit mehreren Wellen ist durch die folgende Analogiebetrachtung zu überprüfen.

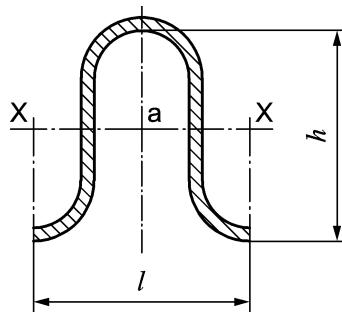
Es ist eine Außendruckberechnung eines äquivalenten Zylinders nach AD 2000-Merkblatt B 6 durchzuführen, wobei als Berechnungsdurchmesser der Außendurchmesser der Innenkrempe des Kompensators, als Länge die Gesamtlänge des Kompensators zwischen den anschließenden Versteifungen und als Äquivalentwanddicke der folgende Wert  $s_{eq}$  zu verwenden sind:

$$s_{eq} = \sqrt[3]{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \frac{I_{xx}}{l}} \quad (17c)$$

# AD 2000-Merkblatt

Seite 8 AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012

$$\text{mit } I_{xx} = s^* \cdot \left[ \frac{(2 \cdot h - l)^3}{48} + 0,4 \cdot l \cdot (h - 0,2 \cdot l)^2 \right]$$



## 6.3 Berechnung gegen veränderliche<sup>2)</sup> Beanspruchung

Die effektive Gesamtdehnungsschwingbreite errechnet sich aus

$$2 \cdot \varepsilon_{\text{ages}} = \frac{\Delta \sigma_{\text{vges}} \cdot f_2}{E} \cdot f_1 \cdot 10^2 \quad (18)$$

$\Delta \sigma_{\text{vges}}$  setzt sich aus dem veränderlichen Teil der Beanspruchung durch Axialverschiebung, Biegung, Lateralbewegung, Innendruck und Torsionsbeanspruchung zusammen und muss aus der Summe der daraus resultierenden, zeitlich korrespondierenden Spannungskomponenten ermittelt werden.

Näherungsweise kann  $\Delta \sigma_{\text{vges}}$  durch Addition der einzelnen Vergleichsspannungsanteile  $\Delta \sigma_v$  ermittelt werden aus:

$$\Delta \sigma_{\text{vges}} = \Delta \sigma_{v(p)} + \Delta \sigma_{v(w)} + \Delta \sigma_{v(\alpha)} + \Delta \sigma_{v(T)} + \Delta \sigma_{v(\lambda)} \quad (19)$$

Die teilplastischen Verformungen werden durch den Faktor  $f_2$  berücksichtigt.

Er ergibt sich aus:

$$f_2 = 1 + C \left( \frac{\Delta \sigma_{\text{vges}}}{K} - 2 \right) + 0,1 \cdot B \quad (20)$$

$B$  ist der größere Wert aus  $\frac{\sigma_{v(p)}}{\frac{n}{S_{vp}} \cdot K}$  und  $\frac{\sigma_{\text{um}}}{\frac{K}{S_{\text{um}}}}$

Die Formel (20) gilt für:

$$\frac{\Delta \sigma_{\text{vges}}}{K} \geq 2$$

Für  $\frac{\Delta \sigma_{\text{vges}}}{K} < 2$  ist  $f_2 = 1$

Die  $C$ -Werte für Axial-, Angular- und Lateralbewegung sind Tafel 1 zu entnehmen.

Tafel 1 —  $C$ -Werte

Werkstoffgruppe	$C$ (eingeklammerte Werte gelten für Biegung, d. h. für angulare und laterale Bewegung)		Bälge mit Rundnähten in hochbeanspruchter Zone		warm umgeformt bzw. normalisiert	
	Bälge mit Rundnähten in hochbeanspruchter Zone	kalt verfestigt				
Austenit	0,127	(0,101)	0,105	(0,086)	0,085	(0,067)
Ferrit	0,155	(0,127)	0,155	(0,127)	0,133	(0,109)

Bei kombinierter Beanspruchung wird  $\Delta \sigma_{\text{vges}} \cdot f_2$  wie folgt berechnet:

$$\begin{aligned} \Delta \sigma_{\text{vges}} \cdot f_2 = & \left[ (\Delta \sigma_{v(p)} + \Delta \sigma_{v(T)}) \frac{\Delta \sigma_{v(w)}}{\Delta \sigma_{v(w)} + \Delta \sigma_{v(\alpha)} + \Delta \sigma_{v(\lambda)}} + \Delta \sigma_{v(w)} \right] f_{2(w)} \\ & + \left[ (\Delta \sigma_{v(p)} + \Delta \sigma_{v(T)}) \frac{\Delta \sigma_{v(\alpha)} + \Delta \sigma_{v(\lambda)}}{\Delta \sigma_{v(w)} + \Delta \sigma_{v(\alpha)} + \Delta \sigma_{v(\lambda)}} + \Delta \sigma_{v(\alpha)} + \Delta \sigma_{v(\lambda)} \right] f_{2(\alpha)} \end{aligned} \quad (21)$$

$f_{2(w)}$  bzw.  $f_{2(\alpha)}$  sind die jeweiligen Faktoren  $f_2$  mit den  $C$ -Werten für Axial- bzw. Angularbewegung gemäß Formel (20).

2) Die veränderlichen Spannungsanteile werden mit  $\Delta$  gekennzeichnet.

Die effektive Gesamtdehnungsschwingbreite an der höchstbeanspruchten Stelle ist in Verbindung mit den Tafeln 2 bis 13 und  $f_1 = 1,0$  zu bilden.

Bei Kompensatorbälgen mit Rundnaht in der Innenkrempe ist zusätzlich die Ermüdungssicherheit der Rundnaht zu prüfen. Hierfür ist die effektive Gesamtdehnungsschwingbreite an der Rundnaht (Innenkrempe) mit den Beiwerten aus den Tafeln 14 bis 25 sowie dem Beiwert  $f_1 = 2$ , der die geringere Wechselfestigkeit der Schweißnaht berücksichtigt, zu ermitteln.

Für die Bestimmung der Bruchlastspielzahl ist der größere Wert für  $2 \cdot \varepsilon_{\text{ages}}$  maßgebend.

Bei höherer Temperatur ist die effektive Gesamtdehnungsschwingbreite  $2 \cdot \varepsilon_{\text{ages}}$  mit  $E_{20}/E$  zu multiplizieren.

Die zu erwartende Bruchlastspielzahl (bis zum Beginn der Leckage) ergibt sich aus:

$$N = \left( \frac{10}{2 \cdot \varepsilon_{\text{ages}}} \right)^{3,45} \quad \text{für } 500 \leq N \leq 10^6 \quad (22)$$

Die zulässige Lastspielzahl ergibt sich aus:

$$N_{\text{zul}} \leq \frac{N}{S_L} \quad \text{mit } S_L = 2,0 \quad (23)$$

Voraussetzung für  $S_L = 2,0$  ist, dass durch repräsentative Lebensdauerversuche am Bauteil unter Berücksichtigung der Werkstoffe und Herstellungsverfahren nachgewiesen wurde, dass die Bruchlastspielzahl  $N$  nach Formel (22) für mindestens 95 % der Kompensatoren erreicht wird. Andernfalls ist in Formel (23)  $S_L = 5,0$  einzusetzen.

Bei ungleichförmiger Beanspruchung (variabler Amplitude) ist der Erschöpfungsgrad der einzelnen Kollektive linear zu akkumulieren.

$$D = \sum \frac{n_i}{N_i} \leq 1 \quad (24)$$

wobei  $n_i$  die Zahl der Lastspiele in den jeweiligen Kollektiven,  $N_i$  die dafür zulässige Zahl ist.

## 6.4 Hohe Temperaturen

Im Temperaturbereich der Zeitstandwerte<sup>3)</sup> ist die Stützziffer kleiner als die für gleiche Grenzverformung bei Raumtemperatur. Für Temperaturen  $\geq 500^\circ\text{C}$  ist in Formel (14) sowie bei der Ermittlung von  $B$  (siehe Abschnitt 6.3) die Stützziffer  $n = 1,28$  einzusetzen. Werte für Temperaturen zwischen  $350^\circ\text{C}$  und  $500^\circ\text{C}$  sind linear zu interpolieren zwischen  $n$  nach Formel (15) und 1,28.

## 6.5 Rechenstützwerte

Die Zahlenwerte für  $R_{(p)}$ ,  $R_{(w)}$  und  $R_{(c_w)}$  werden den Tafeln 2 bis 13 bzw. 14 bis 25 entnommen. Zwischenwerte sind linear zu interpolieren<sup>4)</sup>.

## 6.6 Berechnungswanddicke nach der Umformung

Ist die nach dem Umformen vorhandene Kompensatorwanddicke nicht bekannt, so kann für den Innendrucknachweis folgender Berechnungswert verwendet werden:

$$s^* = s \cdot \sqrt{\frac{d_i}{d_m}}$$

## 7 Schrifttum

- [1] Friedrich, W.: Festigkeitsberechnung einwandiger Balgkompenatoren. Technisch-wissenschaftliche Berichte der Staatlichen Materialprüfungsanstalt an der Universität Stuttgart; (1973) Heft 73-01.
- [2] Wellinger, K.; Dietmann, H.: Festigkeitsberechnung von Wellrohrkompenatoren. Technisch-wissenschaftliche Berichte der Staatlichen Materialprüfungsanstalt an der Technischen Hochschule Stuttgart; (1964) Heft 64-01.
- [3] Anderson, W. F.: Analysis of Stresses in Bellows NAA-SR-4527; USAEC, October 1964.
- [4] EN 13445-3, Ausgabe Mai 2002 mit Ergänzung A4 (Juli 2005)
- [5] Standards of EJMA, Edition 2005
- [6] DIN EN 14917, Ausgabe 2004 (Entwurf)

3) Siehe hierzu die Erläuterung im Anhang 1.

4) Die Interpolationsgleichungen im Anhang 1 zu diesem AD 2000-Merkblatt können angewendet werden.

# AD 2000-Merkblatt

Seite 10 AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012

Tafel 2 — Rechenstützwerte

(Vergleichsspannung an der höchstbeanspruchten Stelle der Balgwelle und Axialfederkonstante)

<b>d</b>		<b>r/h</b>											
<b>h</b>	<b>3,0</b>	0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100	
<b>s</b>	<b>0,018</b>	30,04	30,87	32,45	34,30	37,56	43,58	50,32	59,11	68,31	80,16	117,5	
		265,8	239,9	220,7	201,3	184,4	156,7	134,9	116,6	100,3	87,62	91,60	
		8,494	6,549	5,155	4,088	3,298	2,236	1,580	1,145	0,841	0,639	0,559	
	<b>0,020</b>	26,30	26,76	28,10	29,50	32,24	37,14	42,66	49,83	57,08	67,88	97,03	
		274,9	247,1	229,1	210,3	193,8	165,9	143,2	123,7	106,4	94,03	103,8	
		10,35	8,078	6,423	5,142	4,179	2,865	2,036	1,478	1,089	0,843	0,753	
	<b>0,023</b>	21,76	22,15	23,22	24,18	26,35	30,11	34,36	39,72	44,87	55,30	74,71	
		286,2	256,4	239,8	222,1	206,0	178,0	154,1	132,9	114,7	103,5	121,7	
		13,45	10,66	8,582	6,950	5,703	3,961	2,832	2,063	1,535	1,221	1,129	
	<b>0,026</b>	18,44	18,78	19,65	20,46	22,11	25,07	28,43	32,50	36,22	45,60	59,07	
		295,3	266,4	248,8	232,1	216,4	188,1	163,2	140,9	122,5	113,5	139,2	
		16,91	13,57	11,04	9,023	7,459	5,233	3,762	2,754	2,076	1,698	1,614	
	<b>0,030</b>	15,20	15,49	16,18	16,85	18,02	20,25	22,77	25,64	28,10	35,87	44,81	
		304,3	278,3	258,6	242,9	227,7	199,3	173,2	150,1	132,3	131,1	162,2	
		22,05	17,93	14,75	12,18	10,14	7,193	5,207	3,846	2,962	2,508	2,456	
	<b>0,035</b>	12,35	12,59	13,12	13,66	14,48	16,07	17,88	19,77	21,28	27,30	33,88	
		314,1	293,2	274,1	254,8	238,6	210,1	183,3	160,1	145,0	158,6	190,4	
		29,25	24,09	20,03	16,69	14,01	10,05	7,344	5,510	4,368	3,846	3,870	
	<b>0,040</b>	10,31	10,51	10,94	11,38	11,93	13,13	14,45	15,72	16,68	21,77	26,51	
		324,2	304,4	285,8	266,9	249,1	218,3	191,6	169,4	159,1	185,4	218,2	
		37,21	30,96	25,96	21,80	18,41	13,34	9,864	7,539	6,154	5,599	5,747	
	<b>0,045</b>	08,78	08,96	09,03	09,67	10,05	10,95	11,93	12,79	14,19	17,91	21,32	
		331,6	312,9	294,8	276,2	258,6	226,5	199,7	180,6	176,9	211,7	245,7	
		45,85	38,46	32,47	27,44	23,31	17,07	12,79	9,975	8,374	7,828	8,153	
	<b>0,050</b>	07,59	07,75	08,03	08,34	08,61	09,29	10,02	10,62	12,19	14,98	17,53	
		336,9	319,2	301,7	283,5	266,2	234,6	208,8	191,8	201,8	237,4	272,8	
		55,11	46,55	39,53	33,61	28,70	21,25	16,15	12,86	11,08	10,59	11,15	
	<b>0,060</b>	05,88	06,00	06,20	06,42	06,53	06,93	07,36	07,66	09,24	10,94		
		343,6	327,5	311,3	294,3	278,0	248,7	226,1	216,1	250,2	287,6		
		75,32	64,36	55,24	47,46	40,97	31,05	24,34	20,19	18,17	17,96		
	<b>0,070</b>	04,71	04,81	04,95	05,10	05,17	05,39	05,63	06,16	07,24	08,35		
		349,2	332,6	317,9	302,3	287,5	261,5	245,4	260,6	297,1	336,6		
		97,70	84,32	73,06	63,42	55,33	42,98	34,77	29,91	27,87	28,19		
	<b>0,080</b>	03,88	03,94	04,04	04,16	04,21	04,33	04,45	05,08	05,83			
		358,1	341,3	325,7	310,8	297,7	277,8	271,2	304,3	342,6			
		122,3	106,5	93,14	81,66	72,02	57,35	47,79	42,42	40,60			
	<b>0,090</b>	03,27	03,31	03,37	03,46	03,49	03,55	03,79	04,27	04,80			
		366,1	350,9	337,0	323,8	312,5	296,6	311,8	346,9	387,0			
		149,2	131,1	115,7	102,4	91,31	74,49	63,76	58,12	56,79			
	<b>0,100</b>	02,81	02,84	02,86	02,93	02,95	02,99	03,29	03,64			<b>R<sub>(p)</sub></b>	
		373,8	360,3	348,1	336,8	327,4	321,1	351,5	388,3			<b>R<sub>(w)</sub></b>	
		178,8	158,4	141,0	126,0	113,5	94,72	83,06	77,41			<b>R<sub>(c<sub>w</sub>)</sub></b>	

# AD 2000-Merkblatt

AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012 Seite 11

**Tafel 3 — Rechenstützwerte**

(Vergleichsspannung an der höchstbeanspruchten Stelle der Balgwelle und Axialfederkonstante)

<b>d</b> <b>h</b>	<b>3,5</b>	<b>r/h</b>											
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100	
<b>s</b> <b>h</b>	0,018	32,96	33,41	34,95	36,92	40,14	46,23	53,17	61,97	70,91	84,70	119,2	
		246,2	219,0	202,3	185,8	171,2	146,5	126,3	108,8	93,29	82,57	92,30	
		7,485	5,843	4,647	3,721	3,025	2,075	1,474	1,069	0,786	0,609	0,546	
	0,020	28,59	28,95	30,28	31,79	34,49	39,47	45,11	52,24	59,16	72,51	97,86	
		253,8	227,0	209,4	193,6	179,3	154,5	133,4	114,8	98,72	88,83	104,0	
		9,123	7,203	5,784	4,672	3,826	2,649	1,891	1,374	1,018	0,805	0,741	
	0,023	23,67	23,99	25,05	26,09	28,24	32,04	36,28	41,58	46,37	58,15	74,87	
		263,2	237,4	218,4	203,5	189,7	164,6	142,4	122,6	106,3	98,55	121,2	
		11,85	9,493	7,713	6,298	5,201	3,643	2,615	1,909	1,435	1,171	1,114	
	0,026	20,07	20,35	21,21	22,01	23,71	26,70	30,01	33,96	37,32	47,34	58,95	
		270,3	245,6	225,8	211,7	198,2	172,9	149,8	129,3	113,6	112,0	138,1	
		14,89	12,06	9,897	8,149	6,776	4,788	3,455	2,541	1,944	1,635	1,596	
	0,030	16,56	16,80	17,48	18,13	19,34	21,56	24,00	26,71	28,85	36,79	45,10	
		277,1	254,3	237,2	220,3	207,1	181,7	158,0	137,4	123,1	133,6	160,3	
		19,38	15,90	13,17	10,94	9,163	6,540	4,757	3,544	2,783	2,429	2,433	
	0,035	13,46	13,66	14,18	14,69	15,51	17,08	18,79	20,52	21,75	27,85	33,95	
		283,4	265,8	249,2	232,3	216,6	190,0	166,2	146,5	137,1	160,0	187,6	
		25,63	21,27	17,80	14,92	12,58	9,078	6,684	5,083	4,128	3,744	3,840	
	0,040	11,23	11,40	11,81	12,22	12,78	13,92	15,13	16,25	17,68	22,28	26,49	
		290,6	273,9	257,9	241,3	225,7	197,3	173,7	157,1	156,4	185,7	214,6	
		32,50	27,23	22,95	19,37	16,44	12,00	8,966	6,976	5,850	5,474	5,709	
	0,045	09,55	09,70	10,03	10,36	10,74	11,58	12,45	13,18	14,88	18,22	21,26	
		295,4	279,7	264,2	248,1	232,8	205,0	182,5	168,1	180,8	210,9	241,3	
		39,92	33,70	28,60	24,29	20,73	15,32	11,63	9,269	8,005	7,678	8,105	
	0,050	08,25	08,38	08,64	08,92	09,17	09,79	10,43	10,90	12,67	15,18	17,45	
		298,7	283,8	269,0	253,5	238,6	211,9	191,1	179,2	204,7	235,7	267,8	
		47,85	40,66	34,71	29,65	25,46	19,06	14,73	12,01	10,64	10,42	11,09	
	0,060	06,37	06,47	06,64	06,82	06,93	07,27	07,62	08,01	09,49	11,01		
		302,3	289,1	275,7	261,6	248,2	224,6	208,4	220,8	251,2	284,3		
		65,16	55,99	48,32	41,76	36,28	27,92	22,35	19,03	17,60	17,73		
	0,070	05,08	05,16	05,27	05,40	05,44	05,62	05,81	06,41	07,38	08,37		
		310,7	295,7	281,8	268,6	257,0	239,4	236,6	264,2	296,3	331,8		
		84,40	73,27	63,88	55,84	49,09	38,86	32,19	28,44	27,15	27,89		
	0,080	04,16	04,22	04,29	04,39	04,41	04,49	04,64	05,25	05,91			
		318,3	304,9	292,7	281,3	271,4	257,8	276,8	306,2	340,2			
		105,7	92,67	81,62	72,13	64,19	52,21	44,61	40,64	39,72			
	0,090	03,50	03,52	03,57	03,64	03,65	03,68	03,95	04,38	04,85			
		330,1	316,7	305,2	295,0	288,4	290,5	316,0	347,1	383,1			
		129,3	114,4	101,8	90,92	81,85	68,31	59,98	56,01	55,75			
	0,100	02,99	03,01	03,02	03,07	03,08	03,15	03,41	03,72				<b>R<sub>(p)</sub></b>
		344,3	333,3	324,3	316,8	312,3	326,9	354,1	387,1				<b>R<sub>(w)</sub></b>
		155,5	138,8	124,6	112,5	102,4	87,51	78,67	74,97				<b>R<sub>(c<sub>w</sub>)</sub></b>

# AD 2000-Merkblatt

Seite 12 AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012

**Tafel 4 — Rechenstützwerte**  
(Vergleichsspannung an der höchstbeanspruchten Stelle der Balgwelle und Axialfederkonstante)

<b>d h</b>		<b>r/h</b>											
<b>4,0</b>		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100	
<b>s h</b>	<b>0,018</b>	35,49	35,98	37,37	39,44	42,64	48,80	55,88	64,62	73,18	89,62	120,1	
	<b>0,020</b>	229,0	204,8	186,7	172,6	159,8	137,5	118,6	101,8	87,41	78,71	92,47	
	<b>0,023</b>	6,680	5,270	4,229	3,414	2,795	1,934	1,379	1,001	0,740	0,584	0,538	
	<b>0,026</b>	30,79	31,15	32,39	33,99	36,67	41,71	47,43	54,43	60,93	75,90	98,19	
	<b>0,030</b>	235,4	212,0	192,8	179,3	166,8	144,3	124,6	107,0	92,44	84,92	103,8	
	<b>0,035</b>	8,141	6,493	5,257	4,279	3,526	2,461	1,762	1,283	0,958	0,775	0,732	
	<b>0,040</b>	25,52	25,77	26,81	27,93	30,06	33,88	38,13	43,24	47,61	60,11	74,81	
	<b>0,045</b>	243,0	220,9	200,9	187,7	175,5	152,7	132,1	113,7	99,64	97,99	120,4	
	<b>0,050</b>	10,57	8,542	6,994	5,749	4,773	3,365	2,423	1,777	1,353	1,133	1,103	
	<b>0,060</b>	21,65	21,87	22,72	23,53	25,25	28,23	31,46	35,24	38,22	48,49	58,93	
<b>p w cw</b>	<b>0,060</b>	248,5	227,2	208,2	194,3	182,4	159,5	138,3	119,7	106,7	114,0	136,9	
	<b>0,070</b>	13,26	10,83	8,947	7,411	6,190	4,401	3,189	2,362	1,838	1,588	1,583	
	<b>0,080</b>	17,87	18,06	18,73	19,35	20,59	22,77	25,10	27,62	29,45	37,34	45,26	
	<b>0,090</b>	253,5	233,4	218,3	203,1	189,3	166,5	145,0	127,0	117,3	134,9	158,5	
	<b>0,100</b>	17,22	14,23	11,86	9,903	8,326	5,978	4,374	3,296	2,644	2,370	2,417	
	<b>0,040</b>	14,51	14,68	15,18	15,66	16,48	18,00	19,58	21,14	22,48	28,48	33,97	
	<b>0,050</b>	257,1	242,0	227,5	212,5	198,5	173,0	152,1	136,9	135,3	160,4	185,2	
	<b>0,060</b>	22,69	18,95	15,94	13,42	11,36	8,259	6,136	4,741	3,945	3,670	3,819	
	<b>0,070</b>	12,10	12,24	12,62	13,00	13,55	14,62	15,71	16,69	18,45	22,65	26,45	
	<b>0,080</b>	262,0	247,8	233,8	219,4	205,6	180,7	160,6	147,7	159,4	185,3	211,6	
<b>p w cw</b>	<b>0,045</b>	28,68	24,16	20,47	17,35	14,79	10,89	8,237	6,535	5,623	5,384	5,682	
	<b>0,050</b>	10,27	10,39	10,69	10,99	11,36	12,13	12,89	13,50	15,40	18,44	21,20	
	<b>0,060</b>	265,0	251,7	238,4	224,5	211,2	187,4	169,0	158,7	183,0	209,8	237,7	
	<b>0,070</b>	35,13	29,81	25,41	21,69	18,60	13,90	10,71	8,726	7,732	7,572	8,072	
	<b>0,080</b>	08,86	08,96	09,19	09,43	09,68	10,22	10,76	11,15	13,03	15,31	17,39	
<b>p w cw</b>	<b>0,050</b>	266,9	254,4	241,8	228,6	216,0	193,7	177,3	180,6	206,1	233,9	263,7	
	<b>0,060</b>	42,01	35,88	30,78	26,43	22,81	17,30	13,61	11,36	10,33	10,29	11,05	
	<b>0,070</b>	06,80	06,88	07,03	07,18	07,27	07,56	07,84	08,32	09,68	11,06		
	<b>0,080</b>	273,8	258,6	246,8	235,3	224,4	206,2	200,7	223,9	251,1	281,2		
<b>p w cw</b>	<b>0,060</b>	57,06	49,31	42,78	37,21	32,54	25,46	20,82	18,17	17,19	17,56		
	<b>0,070</b>	05,41	05,47	05,56	05,66	05,68	05,82	05,97	06,60	07,48	08,39		
	<b>0,080</b>	282,0	268,2	256,5	246,0	237,0	225,4	240,8	265,8	294,8	327,6		
	<b>0,090</b>	73,93	64,58	56,67	49,89	44,22	35,68	30,25	27,37	26,63	27,68		
	<b>0,100</b>	04,41	04,46	04,52	04,59	04,59	04,64	04,83	05,37	05,97			
<b>p w cw</b>	<b>0,080</b>	295,9	283,6	273,0	263,7	257,5	258,4	279,8	306,4	337,5			
	<b>0,090</b>	92,82	81,92	72,67	64,76	58,16	48,31	42,25	39,34	39,10			
	<b>0,100</b>	03,70	03,71	03,75	03,80	03,79	03,79	04,08	04,47	04,89			
<b>p w cw</b>	<b>0,080</b>	310,3	300,3	292,2	285,4	281,7	294,5	317,7	346,1	379,4			
	<b>0,090</b>	114,0	101,6	91,10	82,13	74,67	63,69	57,20	54,49	55,01			
	<b>0,100</b>	03,16	03,16	03,17	03,21	03,19	03,28	03,51	03,78				
<b>p w cw</b>	<b>0,080</b>	328,8	320,0	314,2	310,9	310,7	329,8	354,7	384,9				
	<b>0,090</b>	137,7	123,9	112,2	102,3	94,07	82,16	75,46	73,22				
	<b>0,100</b>	<b>R<sub>(p)</sub></b>	<b>R<sub>(w)</sub></b>	<b>R<sub>(c_w)</sub></b>									

# AD 2000-Merkblatt

AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012 Seite 13

**Tafel 5 — Rechenstützwerte**

(Vergleichsspannung an der höchstbeanspruchten Stelle der Balkenwelle und Axialfederkonstante)

<b><math>\frac{d}{h}</math></b>	<b>5,0</b>	<b>r/h</b>											
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100	
<b><math>\frac{s}{h}</math></b>	<b>0,018</b>	40,31	40,90	42,00	44,25	47,41	53,69	60,87	69,27	76,84	96,11	120,7	
		200,2	181,3	164,7	151,0	140,8	122,0	105,1	90,14	78,35	75,17	92,14	
		5,476	4,396	3,579	2,927	2,420	1,697	1,217	0,887	0,667	0,549	0,529	
	<b>0,020</b>	35,01	35,44	36,44	38,19	40,82	45,91	51,62	58,19	63,72	80,18	98,19	
		204,6	186,4	170,2	155,8	145,8	126,9	109,5	94,25	82,99	85,26	102,9	
		6,666	5,402	4,433	3,651	3,035	2,143	1,544	1,133	0,866	0,733	0,721	
	<b>0,023</b>	29,05	29,31	30,19	31,41	33,48	37,28	41,39	46,01	49,52	62,44	74,64	
		209,4	192,1	176,4	161,5	151,8	132,7	115,0	99,83	90,06	100,8	118,9	
		8,628	7,075	5,860	4,867	4,073	2,902	2,106	1,566	1,231	1,081	1,090	
	<b>0,026</b>	24,65	24,80	25,58	26,45	28,11	31,00	33,99	37,30	39,57	49,75	59,41	
		212,5	196,1	180,8	167,9	156,2	137,2	119,5	105,0	98,31	115,9	134,7	
		10,78	8,924	7,448	6,226	5,238	3,764	2,757	2,084	1,684	1,526	1,567	
	<b>0,030</b>	20,32	20,43	21,05	21,61	22,86	24,91	26,95	29,07	30,84	38,33	42,42	
		214,7	199,4	186,7	174,5	162,9	142,0	124,8	113,0	115,9	135,7	155,5	
		13,92	11,63	9,787	8,243	6,979	5,073	3,772	2,922	2,447	2,293	2,397	
	<b>0,035</b>	16,46	16,56	17,01	17,42	18,22	19,57	20,87	22,10	24,14	29,30	33,96	
		217,2	203,3	192,0	180,2	169,0	148,9	133,1	123,7	139,4	160,0	181,3	
		18,22	15,37	13,04	11,07	9,442	6,974	5,300	4,241	3,693	3,574	3,793	
	<b>0,040</b>	13,67	13,75	14,08	14,38	14,90	15,80	16,65	17,36	19,54	23,12	26,38	
		221,3	206,1	195,5	184,4	173,8	155,1	141,3	142,5	162,2	183,8	206,9	
		22,89	19,47	16,64	14,23	12,23	9,191	7,153	5,906	5,315	5,268	5,649	
	<b>0,045</b>	11,56	11,63	11,87	12,09	12,43	13,03	13,59	14,00	16,12	18,72	21,11	
		224,8	210,6	198,0	187,7	178,0	161,1	149,8	164,1	184,6	207,2	232,3	
		27,92	23,92	20,58	17,73	15,36	11,76	9,374	7,966	7,368	7,435	8,030	
	<b>0,050</b>	09,93	09,98	10,16	10,33	10,53	10,94	11,31	11,61	13,53	15,49	17,30	
		228,1	215,0	203,1	192,0	182,3	168,5	167,3	185,2	206,5	230,3	257,5	
		33,31	28,73	24,88	21,60	18,86	14,71	12,01	10,47	9,904	10,13	11,00	
	<b>0,060</b>	07,57	07,60	07,70	07,79	07,86	08,04	08,19	08,79	09,95	11,13		
		237,2	225,9	216,1	207,5	200,3	192,4	206,6	226,3	249,4	276,0		
		45,23	39,51	34,69	30,56	27,12	21,95	18,70	17,02	16,84	17,36		
	<b>0,070</b>	05,98	06,01	06,06	06,11	06,11	06,17	06,23	06,89	07,64	08,42		
		250,8	241,1	233,1	227,0	222,4	227,8	244,8	266,1	291,3	320,9		
		58,88	52,07	46,31	41,39	37,30	31,25	27,59	25,94	25,96	27,41		
	<b>0,080</b>	04,86	04,88	04,91	04,94	04,90	04,91	05,13	05,57	06,08			
		267,9	260,2	254,4	250,6	250,1	263,1	281,8	304,9	332,4			
		74,52	66,88	60,04	54,40	49,73	42,94	39,07	37,64	38,30			
	<b>0,090</b>	04,06	04,06	04,07	04,09	04,05	04,06	04,31	04,62	04,97			
		288,1	282,7	280,3	279,1	282,2	297,6	317,9	342,9	372,8			
		92,43	83,63	76,20	69,91	64,74	57,40	53,48	52,50	54,06			
	<b>0,100</b>	03,47	03,44	03,44	03,45	03,42	03,52	03,69	03,90				<b>R(p)</b>
		312,8	309,5	307,8	307,6	314,1	331,2	353,2	380,2				<b>R(w)</b>
		112,9	103,2	95,09	88,23	82,66	74,94	71,21	70,93				<b>R(c<sub>w</sub>)</b>

# AD 2000-Merkblatt

Seite 14 AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012

**Tafel 6 — Rechenstützwerte**  
(Vergleichsspannung an der höchstbeanspruchten Stelle der Balgwelle und Axialfederkonstante)

<b>d</b>	<b>h</b>	<b>r/h</b>											
		<b>7,0</b>	0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100
<b>s</b>	<b>0,018</b>	49,27	49,95	50,62	53,08	56,13	62,34	69,16	76,31	81,70	102,1	120,3	
		157,9	145,4	133,8	122,5	112,3	98,09	84,92	73,95	68,75	78,08	90,85	
		3,966	3,259	2,704	2,248	1,883	1,343	0,975	0,727	0,576	0,511	0,520	
	<b>0,020</b>	42,80	43,28	43,92	45,80	48,29	53,18	58,37	63,68	67,33	83,84	98,29	
		159,7	147,7	136,5	125,4	115,4	100,7	87,66	77,30	75,28	87,85	101,1	
		4,802	3,976	3,319	2,775	2,335	1,677	1,228	0,929	0,755	0,688	0,711	
	<b>0,023</b>	35,46	35,73	36,31	37,58	39,47	42,93	46,41	49,87	52,75	64,17	75,47	
		161,0	149,8	139,2	128,7	119,2	103,8	91,44	83,47	88,43	102,2	116,3	
		6,160	5,147	4,329	3,646	3,086	2,242	1,667	1,294	1,089	1,026	1,077	
	<b>0,026</b>	30,01	30,12	30,65	31,50	32,96	35,44	37,80	40,11	42,41	51,56	59,79	
		162,9	151,0	141,0	131,0	122,5	107,8	96,28	91,34	102,1	116,4	131,4	
		7,629	6,423	5,437	4,607	3,922	2,886	2,184	1,740	1,511	1,461	1,551	
	<b>0,030</b>	24,61	24,58	25,04	25,53	26,58	28,20	29,61	30,98	33,69	39,90	45,53	
		166,0	154,5	144,2	134,5	126,0	112,5	103,1	106,3	119,9	135,0	151,4	
		9,745	8,274	7,058	6,028	5,173	3,876	3,009	2,480	2,232	2,215	2,377	
	<b>0,035</b>	19,77	19,73	20,03	20,26	20,96	21,91	22,68	23,38	26,08	30,17	33,94	
		169,0	158,7	149,3	140,5	132,9	120,8	116,0	127,3	141,7	157,8	176,3	
		12,63	10,82	9,317	8,035	6,967	5,351	4,290	3,674	3,427	3,478	3,767	
	<b>0,040</b>	16,28	16,23	16,42	16,56	16,98	17,53	17,95	18,29	20,79	23,64	26,31	
		171,9	162,7	154,3	146,5	140,3	131,8	135,0	147,7	162,9	180,4	201,0	
		15,79	13,65	11,85	10,32	9,047	7,126	5,891	5,214	4,996	5,154	5,616	
	<b>0,045</b>	13,66	13,62	13,73	13,80	14,05	14,37	14,58	14,96	16,98	19,06	21,03	
		177,2	168,8	161,5	155,1	149,8	144,6	154,2	167,7	183,9	202,8	225,8	
		19,23	16,77	14,69	12,92	11,45	9,242	7,859	7,148	6,995	7,300	7,990	
	<b>0,050</b>	11,65	11,61	11,67	11,70	11,84	12,00	12,10	12,64	14,15	15,71	17,22	
		183,8	176,1	169,6	164,4	160,9	162,0	173,0	187,3	204,5	224,9	251,9	
		23,01	20,22	17,87	15,87	14,21	11,74	10,24	9,528	9,477	9,976	10,95	
	<b>0,060</b>	08,80	08,76	08,77	08,76	08,77	08,78	08,75	09,42	10,31	11,26		
		200,3	194,6	190,8	188,6	188,5	197,1	209,7	225,7	245,2	268,8		
		31,65	28,27	25,41	22,98	20,98	18,08	16,42	15,82	16,10	17,15		
	<b>0,070</b>	06,93	06,89	06,87	06,85	06,81	06,75	06,85	07,33	07,89	08,51		
		222,3	219,6	218,1	217,5	220,5	231,0	245,3	263,2	285,2	314,5		
		42,02	38,08	34,76	31,97	29,68	26,47	24,82	24,49	25,31	27,15		
	<b>0,080</b>	05,64	05,60	05,57	05,54	05,48	05,39	05,60	05,90	06,27			
		248,8	246,7	245,9	247,5	252,0	264,1	280,1	300,0	324,6			
		54,40	49,96	46,25	43,15	40,66	37,28	35,79	35,92	37,51			
	<b>0,090</b>	04,70	04,67	04,64	04,60	04,53	04,56	04,69	04,88	05,13			
		274,9	273,5	273,5	277,4	282,7	296,4	314,2	336,2	366,5			
		69,10	64,23	60,19	56,85	54,22	50,84	49,70	50,52	53,14			
	<b>0,100</b>	04,03	03,98	03,95	03,91	03,92	03,94	04,02	04,13				<b>R<sub>(p)</sub></b>
		300,8	300,3	301,7	306,7	312,8	328,2	347,7	371,9				<b>R<sub>(w)</sub></b>
		86,42	81,18	76,89	73,39	70,70	67,50	66,91	68,67				<b>R<sub>(c_w)</sub></b>

# AD 2000-Merkblatt

AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012 Seite 15

**Tafel 7 — Rechenstützwerte**

(Vergleichsspannung an der höchstbeanspruchten Stelle der Balgwelle und Axialfederkonstante)

<b><math>\frac{d}{h}</math></b>	<b>r/h</b>												
	<b>10</b>	<b>0,500</b>	<b>0,475</b>	<b>0,450</b>	<b>0,425</b>	<b>0,400</b>	<b>0,350</b>	<b>0,300</b>	<b>0,250</b>	<b>0,200</b>	<b>0,150</b>	<b>0,100</b>	
<b>s</b>	<b>0,018</b>	61,15	61,77	62,00	64,39	67,08	72,51	78,01	82,96	87,49	104,8	121,5	
	<b>0,020</b>	117,5	109,2	101,9	94,54	87,78	76,16	67,78	63,96	69,46	79,08	89,20	
	<b>0,023</b>	2,709	2,272	1,917	1,619	1,374	1,003	0,752	0,592	0,507	0,486	0,514	
	<b>0,026</b>	52,93	53,29	53,49	55,27	57,38	61,40	65,30	68,70	72,18	86,23	99,23	
	<b>0,030</b>	119,2	110,5	102,7	95,83	89,40	78,37	71,45	69,92	78,28	88,25	99,05	
	<b>0,035</b>	3,250	2,742	2,326	1,975	1,685	1,246	0,950	0,766	0,675	0,659	0,704	
	<b>0,040</b>	43,55	43,65	43,84	44,94	46,43	49,02	51,37	53,33	56,93	66,90	75,98	
	<b>0,045</b>	121,0	113,1	105,8	99,02	93,03	83,51	78,01	81,85	91,25	101,8	113,8	
	<b>0,050</b>	4,120	3,506	2,997	2,565	2,206	1,663	1,303	1,087	0,991	0,992	1,069	
	<b>0,060</b>	36,57	36,49	36,67	37,33	38,40	40,08	41,48	42,62	46,26	53,44	60,05	
<b>h</b>	<b>0,020</b>	122,6	115,3	108,7	102,5	97,03	88,93	86,08	94,10	104,0	115,3	128,4	
	<b>0,023</b>	5,060	4,338	3,735	3,222	2,796	2,151	1,731	1,489	1,395	1,421	1,542	
	<b>0,026</b>	29,68	29,46	29,62	29,92	30,62	31,55	32,22	32,76	36,16	41,05	45,64	
	<b>0,030</b>	124,7	118,3	112,5	107,5	103,4	98,01	101,4	110,1	120,7	133,0	147,8	
	<b>0,035</b>	6,425	5,560	4,834	4,216	3,701	2,929	2,436	2,171	2,093	2,167	2,366	
	<b>0,040</b>	23,57	23,34	23,41	23,45	23,88	24,29	24,50	24,65	27,63	30,87	33,97	
	<b>0,045</b>	131,0	125,3	120,5	116,2	113,6	113,0	120,1	129,6	141,2	155,0	172,0	
	<b>0,050</b>	8,329	7,290	6,415	5,671	5,052	4,133	3,568	3,292	3,257	3,420	3,752	
	<b>0,060</b>	19,24	19,04	19,02	18,94	19,20	19,34	19,31	19,70	21,86	24,12	26,33	
	<b>0,070</b>	138,2	133,7	130,1	127,5	126,3	130,5	138,4	148,7	161,4	176,8	196,7	
<b>R</b>	<b>0,080</b>	10,48	9,277	8,261	7,398	6,683	5,637	5,020	4,760	4,797	5,085	5,597	
	<b>0,090</b>	16,05	15,88	15,82	15,70	15,83	15,82	15,68	16,23	17,77	19,41	21,04	
	<b>0,100</b>	147,6	144,3	142,0	141,4	141,8	147,6	156,3	167,5	181,4	198,4	222,1	
	<b>0,040</b>	12,92	11,56	10,41	9,437	8,636	7,484	6,840	6,622	6,765	7,220	7,966	
	<b>0,050</b>	13,64	13,49	13,40	13,28	13,32	13,22	13,03	13,65	14,77	15,99	17,23	
	<b>0,060</b>	159,3	157,4	156,4	156,1	157,8	164,4	173,9	186,1	201,2	219,9	247,6	
	<b>0,070</b>	15,69	14,17	12,90	11,83	10,95	9,718	9,074	8,930	9,216	9,883	10,92	
	<b>0,080</b>	10,30	10,18	10,08	09,95	09,91	09,73	09,61	10,12	10,75	11,47		
	<b>0,090</b>	186,1	184,9	184,6	186,0	189,0	197,3	208,4	222,6	240,3	264,2		
	<b>0,100</b>	22,34	20,55	19,07	17,83	16,84	15,52	14,97	15,08	15,78	17,03		
<b>R</b>	<b>0,040</b>	08,15	08,05	07,95	07,84	07,75	07,55	07,61	07,88	08,25	08,68		
	<b>0,050</b>	212,5	212,0	212,8	215,7	219,5	229,3	242,3	258,6	279,0	310,5		
	<b>0,060</b>	30,73	28,73	27,08	25,73	24,68	23,40	23,07	23,60	24,91	27,00		
	<b>0,070</b>	06,68	06,59	06,49	06,39	06,29	06,17	06,24	06,37	06,58			
	<b>0,080</b>	238,8	239,0	241,0	244,7	249,3	260,7	275,5	294,1	320,7			
	<b>0,090</b>	41,18	39,01	37,25	35,85	34,80	33,68	33,74	34,88	37,04			
	<b>0,100</b>	05,62	05,55	05,46	05,37	05,31	05,25	05,25	05,29	05,41			
	<b>0,040</b>	265,0	266,0	268,8	273,3	278,6	291,7	308,3	330,0	363,4			
	<b>0,050</b>	53,97	51,69	49,88	48,49	47,52	46,73	47,36	49,31	52,58			
	<b>0,060</b>	04,88	04,82	04,75	04,69	04,64	04,56	04,51	04,50			<b>R<sub>(p)</sub></b>	
<b>R</b>	<b>0,070</b>	291,3	293,1	296,1	301,3	307,4	322,1	340,7	369,6			<b>R<sub>(w)</sub></b>	
	<b>0,080</b>	69,40	67,07	65,29	63,98	63,16	62,87	64,27	67,30			<b>R<sub>(c<sub>w</sub>)</sub></b>	

# AD 2000-Merkblatt

Seite 16 AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012

**Tafel 8 — Rechenstützwerte**  
(Vergleichsspannung an der höchstbeanspruchten Stelle der Balgwelle und Axialfederkonstante)

<b>d</b>		<b>r/h</b>											
		<b>15</b>	<b>0,500</b>	<b>0,475</b>	<b>0,450</b>	<b>0,425</b>	<b>0,400</b>	<b>0,350</b>	<b>0,300</b>	<b>0,250</b>	<b>0,200</b>	<b>0,150</b>	<b>0,100</b>
<b>s</b>	<b>0,018</b>	77,05	77,18	76,80	78,56	80,36	83,86	87,01	89,13	94,50	109,2	122,7	
		83,84	78,92	74,45	70,26	66,61	61,29	59,74	64,77	71,22	78,70	87,50	
		1,669	1,430	1,231	1,062	0,922	0,709	0,571	0,492	0,462	0,471	0,511	
	<b>0,020</b>	66,11	65,98	65,51	66,78	68,05	70,34	72,27	73,44	78,70	89,81	100,2	
		84,74	80,28	76,23	72,49	69,61	65,67	67,15	72,65	79,45	87,46	97,10	
		1,989	1,717	1,488	1,294	1,132	0,889	0,734	0,649	0,622	0,642	0,700	
	<b>0,023</b>	53,73	53,37	52,99	53,63	54,38	55,55	56,40	56,77	61,57	69,23	76,51	
		88,07	84,06	80,64	77,84	75,36	73,96	78,30	84,25	91,64	100,5	111,5	
		2,514	2,191	1,920	1,689	1,497	1,211	1,034	0,945	0,928	0,971	1,064	
	<b>0,026</b>	44,65	44,17	43,85	44,12	44,56	45,09	45,35	45,30	49,56	55,09	60,43	
		91,78	88,45	85,91	83,84	82,67	84,43	89,21	95,66	103,7	113,5	125,8	
		3,098	2,727	2,414	2,149	1,928	1,604	1,410	1,322	1,323	1,397	1,536	
	<b>0,030</b>	35,87	35,33	35,08	35,07	35,26	35,32	35,17	34,89	38,44	42,20	45,92	
		98,97	96,62	95,00	94,48	94,67	98,07	103,5	110,6	119,6	130,7	144,8	
		3,983	3,550	3,185	2,876	2,622	2,254	2,046	1,971	2,007	2,139	2,359	
	<b>0,035</b>	28,29	27,82	27,55	27,37	27,41	27,18	26,80	27,00	29,26	31,71	34,20	
		111,1	109,9	109,4	109,3	110,5	114,7	120,9	129,1	139,3	152,0	169,3	
		5,285	4,780	4,356	4,000	3,709	3,302	3,093	3,051	3,154	3,386	3,744	
	<b>0,040</b>	23,04	22,65	22,37	22,11	22,07	21,72	21,24	21,64	23,12	24,79	26,53	
		124,6	123,8	123,7	124,3	126,0	131,1	138,1	147,3	158,8	173,2	194,1	
		6,841	6,271	5,796	5,399	5,081	4,651	4,461	4,478	4,677	5,044	5,586	
	<b>0,045</b>	19,26	18,92	18,65	18,36	18,28	17,88	17,36	17,83	18,83	19,99	21,24	
		138,0	137,6	137,8	139,2	141,3	147,2	155,1	165,3	178,1	194,4	219,0	
		8,689	8,062	7,543	7,115	6,778	6,346	6,198	6,300	6,628	7,172	7,952	
	<b>0,050</b>	16,43	16,14	15,89	15,59	15,49	15,06	14,54	15,02	15,69	16,51	17,43	
		151,3	151,2	152,0	153,9	156,4	163,0	171,9	183,2	197,4	216,6	244,0	
		10,87	10,19	9,637	9,187	8,841	8,428	8,349	8,567	9,060	9,829	10,91	
	<b>0,060</b>	12,57	12,35	12,12	11,86	11,71	11,29	11,07	11,22	11,51	11,92		
		177,8	178,4	180,2	182,8	186,1	194,3	205,0	218,5	235,5	261,7		
		16,36	15,62	15,02	14,56	14,23	13,93	14,08	14,63	15,58	16,96		
	<b>0,070</b>	10,10	09,92	09,71	09,49	09,33	08,95	08,84	08,83	08,91	09,09		
		204,2	205,6	207,8	211,2	215,2	225,1	237,7	253,5	276,9	307,0		
		23,63	22,85	22,27	21,84	21,58	21,51	22,01	23,06	24,67	26,91		
	<b>0,080</b>	08,40	08,25	08,07	07,88	07,72	07,49	07,32	07,21	07,18			
		230,8	232,8	235,7	239,1	243,9	255,5	270,0	290,5	318,5			
		32,96	32,20	31,68	31,34	31,20	31,50	32,52	34,26	36,76			
	<b>0,090</b>	07,22	07,07	06,94	06,80	06,67	06,43	06,22	06,06	05,96			
		257,4	260,2	263,7	267,8	272,6	285,5	303,3	329,1	360,2			
		44,64	43,96	43,56	43,37	43,43	44,24	45,96	48,60	52,26			
	<b>0,100</b>	06,40	06,26	06,13	05,99	05,87	05,62	05,39	05,21				<b>R<sub>(p)</sub></b>
		284,1	287,6	291,9	296,8	302,4	316,0	339,4	367,9				<b>R<sub>(w)</sub></b>
		58,97	58,43	58,21	58,25	58,58	60,09	62,70	66,49				<b>R<sub>(c_w)</sub></b>

# AD 2000-Merkblatt

AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012 Seite 17

**Tafel 9 — Rechenstützwerte**

(Vergleichsspannung an der höchstbeanspruchten Stelle der Balkenwelle und Axialfederkonstante)

<b>d</b>	<b>h</b>	<b>r/h</b>											
	<b>20</b>	0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100	
<b>s</b>	<b>0,018</b>	89,16	88,68	87,62	88,77	89,68	91,44	92,80	93,12	99,71	111,9	123,6	
		67,37	64,44	61,94	59,77	58,42	58,02	61,25	65,72	71,31	78,08	86,53	
		1,165	1,017	0,893	0,787	0,699	0,569	0,489	0,449	0,443	0,465	0,510	
	<b>0,020</b>	76,03	75,36	74,32	75,05	75,56	76,42	76,94	76,71	82,66	91,91	100,9	
		69,87	67,52	65,65	64,14	63,44	64,93	68,45	73,25	79,28	86,67	96,01	
		1,395	1,228	1,088	0,969	0,870	0,725	0,639	0,600	0,601	0,636	0,699	
	<b>0,023</b>	61,40	60,61	59,76	59,98	60,13	60,21	60,04	59,39	64,42	70,77	77,05	
		75,43	73,76	72,67	72,41	72,62	75,09	79,07	84,41	91,14	99,50	110,2	
		1,783	1,590	1,427	1,289	1,176	1,012	0,919	0,886	0,903	0,963	1,063	
	<b>0,026</b>	50,84	50,02	49,32	49,25	49,21	48,89	48,37	47,58	51,77	56,31	60,89	
		82,72	81,82	81,42	81,40	82,09	85,06	89,52	95,44	102,9	112,3	124,3	
		2,231	2,012	1,829	1,674	1,548	1,370	1,277	1,255	1,295	1,388	1,534	
	<b>0,030</b>	40,81	40,01	39,45	39,19	39,01	38,43	37,69	37,47	40,17	43,19	46,31	
		93,64	93,03	92,93	93,34	94,52	98,11	103,3	110,0	118,5	129,2	143,7	
		2,935	2,686	2,477	2,304	2,164	1,974	1,888	1,892	1,974	2,128	2,356	
	<b>0,035</b>	32,28	31,62	31,11	30,74	30,50	29,79	28,96	29,03	30,64	32,53	34,56	
		107,1	106,8	107,1	108,2	109,8	114,2	120,2	128,0	137,8	150,3	168,2	
		4,015	3,732	3,499	3,307	3,156	2,965	2,904	2,958	3,115	3,373	3,740	
	<b>0,040</b>	26,44	25,90	25,42	25,02	24,75	24,01	23,16	23,36	24,32	25,52	26,86	
		120,4	120,5	121,3	122,8	124,8	130,0	136,9	145,8	157,0	171,3	192,7	
		5,353	5,042	4,790	4,587	4,433	4,258	4,242	4,370	4,631	5,029	5,582	
	<b>0,045</b>	22,25	21,79	21,36	20,95	20,68	19,95	19,12	19,34	19,89	20,65	21,55	
		133,7	134,2	135,4	137,3	139,6	145,6	153,5	163,5	176,1	193,4	217,4	
		6,985	6,655	6,392	6,186	6,037	5,897	5,949	6,177	6,576	7,155	7,947	
	<b>0,050</b>	19,13	18,74	18,34	17,94	17,68	16,97	16,30	16,38	16,66	17,12	17,72	
		146,9	147,8	149,3	151,6	154,3	161,1	169,9	181,1	195,1	215,6	242,1	
		8,949	8,607	8,342	8,142	8,008	7,925	8,069	8,428	9,002	9,808	10,90	
	<b>0,060</b>	14,86	14,55	14,22	13,85	13,60	12,95	12,56	12,39	12,36	12,46		
		173,5	175,0	177,2	179,8	183,3	191,8	202,5	215,9	235,1	260,2		
		14,02	13,68	13,44	13,29	13,21	13,32	13,74	14,46	15,51	16,93		
	<b>0,070</b>	12,10	11,85	11,56	11,26	11,00	10,51	10,15	09,86	09,67	09,59		
		200,1	202,4	205,2	208,5	212,3	222,1	234,7	252,3	276,0	305,0		
		20,87	20,58	20,40	20,34	20,38	20,79	21,61	22,86	24,59	26,87		
	<b>0,080</b>	10,19	09,98	09,73	09,51	09,29	08,87	08,48	08,14	07,87			
		226,8	229,8	233,4	237,4	242,0	253,1	268,0	290,2	317,1			
		29,79	29,58	29,53	29,61	29,82	30,67	32,05	34,02	36,65			
	<b>0,090</b>	08,91	08,71	08,49	08,28	08,07	07,66	07,27	06,91	06,60			
		253,7	257,4	261,6	266,4	271,8	284,7	303,5	328,4	358,5			
		41,06	41,00	41,13	41,42	41,87	43,30	45,43	48,33	52,13			
	<b>0,100</b>	07,93	07,73	07,53	07,33	07,14	06,74	06,35	05,99				
		280,7	285,0	290,0	295,5	301,7	316,3	339,2	366,7				
		54,98	55,13	55,51	56,07	56,84	59,03	62,11	66,18				

**R(p)**

**R(w)**

**R(c\_w)**

# AD 2000-Merkblatt

Seite 18 AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012

**Tafel 10 — Rechenstützwerte**

(Vergleichsspannung an der höchstbeanspruchten Stelle der Balgwelle und Axialfederkonstante)

<b>d</b>	<b>h</b>	<b>r/h</b>											
		<b>30</b>	<b>0,500</b>	<b>0,475</b>	<b>0,450</b>	<b>0,425</b>	<b>0,400</b>	<b>0,350</b>	<b>0,300</b>	<b>0,250</b>	<b>0,200</b>	<b>0,150</b>	<b>0,100</b>
<b>s</b>	<b>0,018</b>	107,5	105,9	103,8	103,9	103,5	102,7	101,6	99,64	106,5	115,8	125,2	
		57,01	56,47	56,27	56,32	56,80	58,77	61,75	65,74	70,80	77,19	85,46	
		0,723	0,653	0,595	0,546	0,506	0,449	0,421	0,415	0,429	0,460	0,509	
	<b>0,020</b>	91,40	89,87	87,98	87,84	87,21	86,02	84,61	82,49	88,29	95,19	102,3	
		62,50	62,10	62,05	62,28	63,00	65,27	68,59	72,98	78,56	85,64	94,83	
		0,885	0,808	0,744	0,691	0,647	0,589	0,562	0,561	0,585	0,631	0,698	
	<b>0,023</b>	73,88	72,42	70,91	70,45	69,73	68,24	66,58	65,01	68,94	73,48	78,30	
		70,61	70,44	70,61	71,20	72,15	74,89	78,74	83,77	90,15	98,27	109,0	
		1,172	1,086	1,015	0,956	0,909	0,849	0,828	0,841	0,885	0,957	1,061	
	<b>0,026</b>	61,46	60,12	58,87	58,26	57,51	55,92	54,18	53,13	55,63	58,67	62,02	
		78,65	78,70	79,13	80,00	81,18	84,40	88,80	94,47	101,7	110,9	123,4	
		1,521	1,427	1,350	1,287	1,239	1,182	1,172	1,203	1,273	1,381	1,533	
<b>h</b>	<b>0,030</b>	49,80	48,64	47,60	46,91	46,18	44,58	42,85	42,15	43,47	45,25	47,35	
		89,30	89,65	90,42	91,59	93,08	96,96	102,1	108,7	117,0	127,8	142,8	
		2,094	1,992	1,910	1,846	1,799	1,753	1,766	1,831	1,949	2,120	2,354	
	<b>0,035</b>	39,96	39,03	38,13	37,42	36,74	35,21	33,55	33,04	33,51	34,36	35,50	
		102,6	103,3	104,4	105,9	107,8	112,5	118,6	126,6	136,0	148,8	167,0	
		3,013	2,905	2,823	2,761	2,722	2,703	2,759	2,887	3,086	3,364	3,738	
	<b>0,040</b>	33,23	32,45	31,66	30,97	30,34	28,90	27,34	26,91	26,89	27,18	27,74	
		115,8	116,9	118,3	120,1	122,4	127,9	134,9	143,8	154,9	170,7	191,3	
		4,191	4,084	4,007	3,956	3,931	3,956	4,075	4,287	4,597	5,018	5,579	
	<b>0,045</b>	28,37	27,71	27,00	26,34	25,76	24,42	23,10	22,56	22,25	22,19	22,38	
		129,1	130,5	132,3	134,4	136,8	143,2	151,2	161,2	174,2	192,5	215,7	
		5,665	5,565	5,502	5,468	5,466	5,554	5,759	6,083	6,537	7,142	7,943	
<b>0,050</b>	<b>0,050</b>	24,73	24,15	23,51	22,89	22,35	21,10	20,01	19,34	18,85	18,57	18,51	
		142,4	144,2	146,3	148,8	151,6	158,5	167,4	178,5	194,2	214,5	240,2	
		7,472	7,388	7,346	7,339	7,370	7,541	7,858	8,324	8,958	9,793	10,89	
	<b>0,060</b>	19,65	19,19	18,66	18,10	17,64	16,58	15,73	14,95	14,28	13,76		
		169,2	171,6	174,5	177,6	181,2	189,8	200,5	214,8	234,5	258,6		
		12,24	12,21	12,24	12,31	12,44	12,86	13,48	14,33	15,46	16,91		
	<b>0,070</b>	16,29	15,91	15,46	15,01	14,59	13,75	12,92	12,13	11,40	10,77		
		196,0	199,1	202,7	206,6	211,0	221,3	234,0	252,2	274,9	303,0		
		18,77	18,84	18,99	19,20	19,47	20,24	21,31	22,71	24,52	26,85		
	<b>0,080</b>	14,04	13,67	13,29	12,91	12,52	11,74	10,96	10,18	09,44			
		223,1	226,8	231,1	235,7	240,9	252,9	268,4	289,7	315,6			
		27,38	27,60	27,91	28,30	28,78	30,04	31,71	33,85	36,58			
<b>0,090</b>	<b>0,090</b>	12,35	12,01	11,67	11,32	10,96	10,24	09,50	08,76	08,04			
		250,2	254,6	259,6	265,0	270,9	284,7	303,5	327,5	356,5			
		38,35	38,76	39,30	39,94	40,70	42,59	45,04	48,13	52,04			
	<b>0,100</b>	11,02	10,71	10,39	10,07	09,75	09,07	08,38	07,68				<b>R<sub>(p)</sub></b>
		277,5	282,6	288,2	294,3	301,1	316,6	338,9	365,4				<b>R<sub>(w)</sub></b>
		51,97	52,64	53,48	54,43	55,53	58,24	61,67	65,96				<b>R<sub>(c_w)</sub></b>

# AD 2000-Merkblatt

AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012 Seite 19

**Tafel 11 — Rechenstützwerte**

(Vergleichsspannung an der höchstbeanspruchten Stelle der Balgwelle und Axialfederkonstante)

<b><math>\frac{d}{h}</math></b>	<b>45</b>	<b>r/h</b>											
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100	
<b>s</b>	<b>0,018</b>	130,3	127,8	124,3	123,3	121,4	117,9	114,2	110,1	115,1	121,2	128,0	
		54,27	54,36	54,69	55,29	56,09	58,29	61,30	65,19	70,13	76,45	84,71	
		0,494	0,464	0,441	0,421	0,406	0,389	0,387	0,398	0,422	0,458	0,508	
	<b>0,020</b>	111,6	109,1	106,4	105,2	103,3	99,82	96,14	92,80	95,90	100,0	104,8	
		59,60	59,84	60,34	61,08	62,04	64,57	67,95	72,28	77,78	84,81	94,22	
		0,625	0,594	0,569	0,549	0,535	0,521	0,524	0,543	0,577	0,628	0,697	
	<b>0,023</b>	91,35	89,14	86,92	85,60	83,90	80,52	76,95	74,30	75,81	77,78	80,95	
		67,57	68,03	68,73	69,70	70,89	73,91	77,86	82,88	89,22	97,32	108,6	
		0,868	0,835	0,810	0,791	0,778	0,770	0,785	0,820	0,876	0,955	1,061	
	<b>0,026</b>	77,02	75,08	73,20	71,86	70,29	67,08	63,68	61,42	61,66	62,60	64,14	
		75,53	76,20	77,11	78,26	79,67	83,20	87,72	93,43	100,6	109,8	122,9	
		1,172	1,139	1,115	1,098	1,089	1,092	1,122	1,179	1,263	1,378	1,532	
<b>h</b>	<b>0,030</b>	63,51	61,91	60,28	58,98	57,57	54,60	51,45	49,50	48,88	48,82	49,30	
		86,14	87,09	88,29	89,67	91,31	95,51	100,8	107,4	115,8	126,9	142,1	
		1,687	1,656	1,636	1,625	1,623	1,648	1,708	1,803	1,937	2,116	2,353	
	<b>0,035</b>	51,98	50,67	49,27	48,05	46,80	44,13	41,26	39,53	38,35	37,59	37,29	
		99,43	100,7	102,3	104,0	106,0	110,9	117,1	124,9	134,6	148,5	166,2	
		2,533	2,509	2,499	2,501	2,515	2,579	2,691	2,853	3,072	3,359	3,737	
	<b>0,040</b>	43,95	42,85	41,63	40,49	39,38	36,95	34,44	32,75	31,30	30,16	29,40	
		112,7	114,4	116,3	118,4	120,8	126,5	133,7	142,5	154,3	170,2	190,3	
		3,638	3,628	3,635	3,656	3,693	3,813	3,997	4,249	4,581	5,013	5,578	
	<b>0,045</b>	38,06	37,11	36,03	34,98	33,97	31,75	29,62	27,89	26,31	24,96	23,94	
		126,1	128,0	130,3	132,8	135,6	142,2	150,3	160,4	174,1	191,9	214,5	
		5,040	5,050	5,082	5,130	5,197	5,393	5,671	6,040	6,519	7,136	7,941	
<b>0,050</b>	<b>0,050</b>	33,57	32,72	31,75	30,78	29,86	27,83	25,97	24,24	22,62	21,17	19,98	
		139,5	141,8	144,4	147,2	150,4	157,8	167,0	178,2	194,0	213,7	238,8	
		6,777	6,814	6,878	6,961	7,070	7,362	7,759	8,275	8,938	9,786	10,89	
	<b>0,060</b>	27,17	26,48	25,68	24,84	24,06	22,43	20,81	19,18	17,58	16,07	14,74	
		166,4	169,3	172,6	176,2	180,1	189,3	200,5	214,9	233,9	257,5		
		11,40	11,52	11,67	11,86	12,08	12,64	13,36	14,28	15,43	16,91		
	<b>0,070</b>	22,93	22,29	21,62	20,94	20,25	18,82	17,35	15,84	14,33	12,85		
		193,5	197,0	201,0	205,3	210,0	220,9	234,1	252,0	274,1	301,6		
		17,79	18,04	18,33	18,66	19,05	19,99	21,17	22,64	24,49	26,84		
<b>0,080</b>	<b>0,080</b>	19,89	19,31	18,72	18,12	17,50	16,21	14,87	13,49	12,07			
		220,7	224,9	229,6	234,6	240,1	252,7	268,5	289,3	314,5			
		26,26	26,67	27,15	27,69	28,30	29,75	31,54	33,77	36,54			
	<b>0,090</b>	17,55	17,04	16,50	15,96	15,40	14,24	13,02	11,74	10,42			
		248,0	252,9	258,2	264,0	270,3	284,7	303,4	326,3	355,1			
		37,09	37,72	38,45	39,25	40,15	42,26	44,85	48,04	52,00			
	<b>0,100</b>	15,70	15,24	14,75	14,26	13,75	12,69	11,57	10,39				<b>R<sub>(p)</sub></b>
		275,5	281,0	287,1	293,5	300,6	316,8	338,5	364,4				<b>R<sub>(w)</sub></b>
		50,57	51,49	52,53	53,66	54,93	57,87	61,46	65,85				<b>R<sub>(c_w)</sub></b>

# AD 2000-Merkblatt

Seite 20 AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012

**Tafel 12 — Rechenstützwerte**

(Vergleichsspannung an der höchstbeanspruchten Stelle der Balgwelle und Axialfederkonstante)

<b>d</b>		<b>r/h</b>											
<b>h</b>	<b>60</b>	0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100	
<b>s</b>	<b>0,018</b>	152,6	149,0	144,9	142,8	139,7	133,9	127,8	122,1	123,8	126,9	131,1	
		52,69	53,09	53,67	54,43	55,37	57,74	60,83	64,74	69,70	76,03	84,55	
		0,407	0,393	0,382	0,374	0,369	0,367	0,375	0,392	0,419	0,457	0,508	
	<b>0,020</b>	131,9	128,6	125,2	123,0	120,1	114,6	108,7	103,8	103,9	105,3	107,7	
		57,99	58,53	59,26	60,13	61,22	63,93	67,40	71,78	77,30	84,35	94,06	
		0,528	0,514	0,504	0,497	0,493	0,495	0,510	0,536	0,575	0,627	0,697	
	<b>0,023</b>	109,4	106,5	103,6	101,5	98,95	93,80	88,37	84,09	82,88	82,63	83,29	
		65,95	66,69	67,63	68,71	69,98	73,17	77,23	82,30	88,68	96,81	108,3	
		0,755	0,742	0,734	0,729	0,729	0,741	0,769	0,812	0,873	0,954	1,061	
	<b>0,026</b>	93,26	90,83	88,30	86,25	83,94	79,19	74,14	70,31	68,32	67,09	66,65	
		73,90	74,85	76,01	77,31	78,80	82,43	87,01	92,78	100,0	109,6	122,7	
		1,043	1,033	1,028	1,028	1,033	1,059	1,104	1,170	1,260	1,377	1,532	
	<b>0,030</b>	77,89	75,86	73,67	71,76	69,72	65,44	60,86	57,44	54,90	52,92	51,61	
		84,53	85,75	87,18	88,77	90,58	94,88	100,2	106,9	115,2	126,8	141,8	
		1,537	1,533	1,535	1,544	1,559	1,609	1,687	1,793	1,933	2,115	2,353	
	<b>0,035</b>	64,56	62,88	61,01	59,28	57,50	53,70	49,62	46,56	43,75	41,32	39,42	
		97,85	99,39	101,2	103,1	105,3	110,5	116,8	124,7	134,6	148,3	165,8	
		2,358	2,365	2,382	2,406	2,440	2,534	2,666	2,841	3,067	3,357	3,736	
	<b>0,040</b>	55,14	53,70	52,07	50,49	48,92	45,52	42,06	39,07	36,20	33,59	31,38	
		111,2	113,1	115,2	117,5	120,1	126,1	133,5	142,5	154,3	169,9	189,8	
		3,438	3,462	3,500	3,547	3,606	3,761	3,969	4,235	4,576	5,011	5,577	
	<b>0,045</b>	48,13	46,87	45,43	43,99	42,58	39,50	36,48	33,61	30,79	28,13	25,78	
		124,6	126,8	129,3	131,9	134,9	141,8	150,1	160,4	174,0	191,6	213,9	
		4,814	4,864	4,929	5,007	5,100	5,335	5,639	6,025	6,512	7,133	7,940	
	<b>0,050</b>	42,71	41,59	40,30	38,97	37,70	34,89	32,21	29,48	26,75	24,11	21,72	
		138,1	140,6	143,4	146,4	149,7	157,5	166,9	178,3	193,9	213,3	238,1	
		6,525	6,607	6,708	6,825	6,962	7,297	7,723	8,258	8,930	9,784	10,89	
	<b>0,060</b>	34,92	33,97	32,90	31,80	30,71	28,45	26,09	23,65	21,14	18,65		
		165,1	168,2	171,7	175,4	179,6	189,0	200,4	214,9	233,7	257,0		
		11,09	11,27	11,47	11,69	11,95	12,56	13,32	14,25	15,42	16,90		
	<b>0,070</b>	29,66	28,79	27,88	26,95	26,00	24,01	21,92	19,73	17,46	15,15		
		192,2	196,0	200,2	204,6	209,5	220,7	234,2	251,9	273,7	300,9		
		17,44	17,74	18,09	18,47	18,90	19,89	21,12	22,62	24,48	26,83		
	<b>0,080</b>	25,78	25,01	24,21	23,39	22,54	20,77	18,91	16,93	14,87			
		219,5	223,9	228,8	234,0	239,7	252,6	268,5	289,0	314,0			
		25,86	26,34	26,88	27,47	28,12	29,64	31,49	33,74	36,53			
	<b>0,090</b>	22,79	22,10	21,38	20,65	19,89	18,30	16,62	14,83	12,94			
		247,0	252,0	257,6	263,5	269,9	284,6	303,3	326,3	354,4			
		36,64	37,35	38,15	39,01	39,95	42,14	44,79	48,01	51,99			
	<b>0,100</b>	20,42	19,79	19,15	18,48	17,80	16,36	14,82	13,19			<b>R<sub>(p)</sub></b>	
		274,5	280,2	286,5	293,1	300,3	316,8	338,3	363,9			<b>R<sub>(w)</sub></b>	
		50,06	51,07	52,19	53,39	54,71	57,74	61,39	65,81			<b>R<sub>(c_w)</sub></b>	

# AD 2000-Merkblatt

AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012 Seite 21

**Tafel 13 — Rechenstützwerte**

(Vergleichsspannung an der höchstbeanspruchten Stelle der Balgwelle und Axialfederkonstante)

<b><math>\frac{d}{h}</math></b>	<b>100</b>	<b>r/h</b>											
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100	
<b>s</b>	<b>0,018</b>	215,5	209,6	203,5	198,6	192,7	180,9	168,4	156,9	150,0	144,7	141,2	
		50,69	51,42	52,29	53,24	54,33	56,92	60,13	64,12	69,13	75,49	84,38	
		0,333	0,332	0,332	0,334	0,337	0,348	0,364	0,387	0,418	0,457	0,508	
	<b>0,020</b>	189,4	184,3	178,7	174,1	168,8	157,9	146,3	135,8	128,3	122,0	117,2	
		55,99	56,86	57,86	58,96	60,20	63,13	66,74	71,21	76,79	83,97	93,85	
		0,445	0,445	0,448	0,452	0,457	0,474	0,498	0,531	0,572	0,627	0,697	
	<b>0,023</b>	160,3	155,9	151,2	146,9	142,2	132,5	122,1	112,7	104,9	97,86	92,03	
		63,96	65,02	66,23	67,54	69,01	72,45	76,66	81,84	88,31	96,74	108,1	
		0,659	0,663	0,669	0,677	0,688	0,717	0,755	0,806	0,870	0,953	1,060	
	<b>0,026</b>	139,0	135,2	131,0	127,1	122,9	114,2	104,8	96,26	88,46	81,16	74,81	
<b>h</b>		71,94	73,19	74,61	76,14	77,83	81,78	86,59	92,50	99,84	109,5	122,3	
		0,934	0,943	0,955	0,969	0,986	1,031	1,089	1,163	1,257	1,376	1,532	
	<b>0,030</b>	118,1	114,9	111,2	107,8	104,1	96,38	88,05	80,49	72,98	65,72	59,12	
		82,61	84,11	85,80	87,61	89,62	94,25	99,86	106,7	115,3	126,8	141,4	
		1,411	1,429	1,450	1,475	1,505	1,577	1,669	1,784	1,929	2,114	2,353	
	<b>0,035</b>	99,48	96,77	93,67	90,59	87,45	80,72	73,82	66,77	59,78	52,83	46,27	
		95,99	97,80	99,83	102,0	104,4	109,9	116,5	124,6	134,7	148,1	165,2	
		2,210	2,243	2,282	2,326	2,376	2,496	2,646	2,831	3,063	3,356	3,736	
	<b>0,040</b>	85,98	83,63	80,29	78,18	75,41	69,46	63,29	57,05	50,58	44,03	37,69	
		109,4	111,5	113,9	116,4	119,2	125,5	133,2	142,4	154,3	169,6	189,2	
<b>0,045</b>		3,269	3,323	3,386	3,456	3,534	3,718	3,945	4,224	4,571	5,009	5,577	
		75,73	73,65	71,25	68,78	66,32	60,99	55,51	49,80	43,82	37,69	31,64	
	<b>0,050</b>	122,9	125,3	128,0	130,9	134,0	141,2	149,9	160,4	173,9	191,1	213,2	
		4,624	4,707	4,801	4,904	5,019	5,286	5,612	6,011	6,507	7,132	7,940	
	<b>0,050</b>	67,67	65,82	63,66	61,42	59,19	54,40	49,44	44,18	38,65	32,92	27,17	
		136,4	139,1	142,2	145,4	148,9	157,0	166,7	178,4	193,7	212,8	237,3	
		6,313	6,432	6,566	6,711	6,871	7,243	7,693	8,243	8,924	9,782	10,89	
	<b>0,060</b>	55,96	54,29	52,50	50,64	48,75	44,79	40,57	36,07	31,28	26,25		
		163,5	166,9	170,6	174,5	178,8	188,6	200,3	214,9	233,3	256,3		
		10,84	11,06	11,30	11,56	11,84	12,49	13,28	14,24	15,42	16,90		
<b>0,070</b>		47,70	46,23	44,70	43,12	41,50	38,07	34,40	30,47	26,27	21,81		
	<b>0,070</b>	190,8	194,8	199,2	203,8	208,9	220,4	234,2	251,7	273,2	300,0		
		17,15	17,50	17,89	18,31	18,77	19,82	21,07	22,60	24,47	26,83		
	<b>0,080</b>	41,57	40,27	38,93	37,55	36,11	33,10	29,86	26,39	22,65			
		218,2	222,8	227,9	233,3	239,1	252,4	268,5	288,7	313,3			
		25,52	26,06	26,65	27,29	27,98	29,55	31,44	33,71	36,52			
	<b>0,090</b>	36,82	35,67	34,47	33,24	31,96	29,27	26,38	23,26	19,91			
		245,7	251,0	256,8	262,9	269,5	284,6	303,2	325,8	353,6			
		36,26	37,03	37,89	38,80	39,79	42,05	44,73	47,98	51,97			
	<b>0,100</b>	33,04	32,00	30,93	29,82	28,67	26,24	23,62	20,80				<b>R<sub>(p)</sub></b>
		273,4	279,3	285,8	292,6	300,0	316,9	338,0	363,2				<b>R<sub>(w)</sub></b>
		49,64	50,72	51,90	53,16	54,52	57,63	61,32	65,78				<b>R<sub>(c_w)</sub></b>

# AD 2000-Merkblatt

Seite 22 AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012

**Tafel 14 — Rechenstützwerte**  
(Vergleichsspannung in der Mitte der Welleninnenkrempe)

<b>d h</b>		<b>r/h</b>											
		<b>3,0</b>	0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100
<b>s h</b>	<b>0,018</b>	3,834	4,164	4,680	5,433	6,450	9,555	15,05	25,21	44,77	78,15	117,5	
		33,75	31,85	31,85	32,49	33,54	37,60	41,62	42,78	42,85	62,79	91,60	
	<b>0,020</b>	3,232	3,547	4,042	4,766	5,741	8,724	13,97	23,53	40,80	67,83	97,03	
		43,39	41,45	41,10	41,12	41,45	45,74	48,23	47,99	51,30	74,21	103,8	
	<b>0,023</b>	2,438	2,768	3,280	4,010	5,056	8,019	12,81	21,34	35,47	55,30	74,71	
		58,54	55,89	54,57	53,43	54,61	57,10	57,24	55,42	65,09	91,46	121,7	
	<b>0,026</b>	2,286	2,702	3,291	4,043	4,988	7,593	11,89	19,37	30,84	45,60	59,07	
		73,27	69,58	67,11	66,61	67,23	67,36	65,35	62,82	79,76	108,6	139,2	
	<b>0,030</b>	2,590	2,972	3,488	4,138	4,954	7,206	10,82	16,98	25,66	35,87	44,81	
		91,30	86,13	84,19	83,31	82,36	79,45	75,27	78,42	100,1	131,1	162,2	
<b>s h</b>	<b>0,035</b>	2,871	3,218	3,669	4,228	4,925	6,836	9,699	14,37	20,57	27,30	33,88	
		110,9	106,5	104,2	101,4	98,64	92,61	87,19	100,1	125,9	158,6	190,4	
	<b>0,040</b>	3,054	3,368	3,767	4,256	4,858	6,489	8,872	12,24	16,68	21,77	26,51	
		129,7	125,1	121,2	116,8	112,6	104,5	104,9	122,8	151,5	185,4	218,2	
	<b>0,045</b>	3,154	3,439	3,793	4,221	4,743	6,132	8,110	10,80	14,19	17,91	21,32	
		147,0	141,1	135,8	130,2	124,9	116,0	124,7	146,1	176,9	211,7	245,7	
	<b>0,050</b>	3,192	3,448	3,762	4,136	4,588	5,769	7,408	9,568	12,19	14,98	17,53	
		162,0	155,0	148,6	142,1	136,3	132,5	145,2	169,4	201,8	237,4	272,8	
	<b>0,060</b>	3,140	3,344	3,586	3,870	4,206	5,058	6,188	7,606	9,243	10,94		
		187,0	178,6	171,2	164,2	162,3	169,0	187,4	215,6	250,2	287,6		
<b>s h</b>	<b>0,070</b>	2,991	3,150	3,335	3,549	3,797	4,412	5,203	6,163	7,242	8,346		
		208,4	199,8	195,3	193,8	195,3	207,1	229,6	260,6	297,1	336,6		
	<b>0,080</b>	2,802	2,924	3,063	3,224	3,407	3,854	4,417	5,087	5,831			
		231,0	226,5	224,9	225,8	229,6	245,5	271,2	304,3	342,6			
	<b>0,090</b>	2,601	2,694	2,799	2,919	3,055	3,383	3,790	4,271	4,803			
<b>s h</b>		257,3	254,9	255,5	258,5	264,3	283,6	311,8	346,9	387,0			
	<b>0,100</b>	2,406	2,476	2,555	2,644	2,746	2,988	3,288	3,641				
<b>s h</b>		284,2	283,9	286,5	291,4	298,9	321,1	351,5	388,3				<b>R(p)</b>
													<b>R(w)</b>

# AD 2000-Merkblatt

AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012 Seite 23

**Tafel 15 — Rechenstützwerte**  
(Vergleichsspannung in der Mitte der Welleninnenkrempe)

<b>d h</b>		<b>r/h</b>											
		<b>3,5</b>	<b>0,500</b>	<b>0,475</b>	<b>0,450</b>	<b>0,425</b>	<b>0,400</b>	<b>0,350</b>	<b>0,300</b>	<b>0,250</b>	<b>0,200</b>	<b>0,150</b>	<b>0,100</b>
<b>s h</b>	<b>0,018</b>	3,580	4,017	4,705	5,693	7,007	10,96	17,81	30,09	51,75	84,70	119,2	
	<b>0,020</b>	40,17	38,37	37,94	37,79	39,25	42,55	43,99	43,19	47,09	67,28	92,30	
	<b>0,023</b>	2,880	3,350	4,066	5,065	6,435	10,29	16,74	27,95	46,49	72,51	97,86	
	<b>0,026</b>	50,24	47,95	46,85	47,06	48,31	50,10	49,93	48,11	56,28	78,58	104,0	
	<b>0,030</b>	2,729	3,292	4,069	5,049	6,268	9,595	15,41	25,01	39,80	58,15	74,87	
	<b>0,035</b>	64,94	61,60	60,87	60,91	61,01	60,36	58,02	55,72	70,83	95,41	121,2	
	<b>0,040</b>	3,066	3,575	4,260	5,119	6,190	9,126	14,22	22,34	33,82	47,34	58,95	
	<b>0,045</b>	78,53	75,62	74,71	73,57	72,44	69,45	65,43	67,66	85,87	112,0	138,1	
	<b>0,050</b>	3,413	3,869	4,466	5,207	6,129	8,654	12,74	19,17	27,59	36,79	45,10	
	<b>0,060</b>	96,65	93,56	91,15	88,44	85,79	80,15	74,92	84,79	106,2	133,6	160,3	
<b>R (p) R (w)</b>	<b>0,070</b>	3,699	4,102	4,616	5,247	6,025	8,129	11,21	15,85	21,69	27,85	33,95	
	<b>0,080</b>	117,5	112,7	108,6	104,2	99,96	92,11	92,15	107,3	131,5	160,0	187,6	
	<b>0,090</b>	3,849	4,207	4,653	5,194	5,853	7,606	10,09	13,47	17,68	22,28	26,49	
	<b>0,100</b>	134,9	128,7	123,2	117,5	112,2	103,7	112,0	130,3	156,4	185,7	214,6	
	<b>0,045</b>	3,898	4,214	4,600	5,064	5,622	7,079	9,089	11,72	14,88	18,22	21,26	
	<b>0,050</b>	149,6	142,3	135,7	129,3	123,5	121,2	132,5	153,3	180,8	210,9	241,3	
	<b>0,060</b>	3,876	4,153	4,486	4,882	5,353	6,562	8,189	10,26	12,67	15,18	17,45	
	<b>0,070</b>	162,3	154,2	147,0	140,2	135,5	139,5	153,4	176,1	204,7	235,7	267,8	
	<b>0,080</b>	3,702	3,911	4,156	4,442	4,776	5,611	6,690	8,008	9,492	11,01		
	<b>0,090</b>	184,1	175,5	169,9	167,9	168,5	177,3	195,3	220,8	251,2	284,3		
	<b>0,100</b>	3,446	3,600	3,779	3,984	4,221	4,802	5,534	6,409	7,379	8,369		
	<b>0,045</b>	206,5	202,0	200,0	200,2	202,9	215,5	236,6	264,2	296,3	331,8		
	<b>0,050</b>	3,169	3,282	3,410	3,558	3,727	4,135	4,644	5,246	5,911			
	<b>0,060</b>	233,6	231,0	231,0	233,1	237,6	253,4	276,8	306,2	340,2			
	<b>0,070</b>	2,900	2,982	3,074	3,180	3,301	3,591	3,952	4,379	4,852			
	<b>0,080</b>	261,3	260,6	262,4	266,2	272,2	290,5	316,0	347,1	383,1			
	<b>0,090</b>	2,652	2,710	2,776	2,852	2,938	3,147	3,408	3,718				
	<b>0,100</b>	289,4	290,3	293,7	299,0	306,3	326,9	354,1	387,1				

# AD 2000-Merkblatt

Seite 24 AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012

**Tafel 16 — Rechenstützwerte**  
(Vergleichsspannung in der Mitte der Welleninnenkrempe)

		<b>r/h</b>											
<b>d h</b>		<b>4,0</b>	0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100
<b>s h</b>	<b>0,018</b>	3,231	3,881	4,846	6,177	7,952	12,76	20,98	34,98	57,89	89,62	120,1	
		45,55	43,42	43,14	43,81	44,63	45,70	45,12	43,23	51,02	70,57	92,47	
	<b>0,020</b>	3,105	3,859	4,884	6,164	7,740	12,08	19,73	32,18	51,31	75,90	98,19	
		55,37	53,25	53,21	53,14	53,17	52,58	50,53	48,10	60,63	81,64	103,8	
	<b>0,023</b>	3,586	4,243	5,120	6,214	7,569	11,29	18,03	28,34	42,94	60,11	74,81	
		70,38	68,44	67,31	66,02	64,80	61,81	57,99	59,74	75,49	97,99	120,4	
	<b>0,026</b>	3,966	4,555	5,328	6,288	7,478	10,73	16,45	24,91	36,13	48,49	58,93	
		85,25	82,24	79,94	77,44	75,03	69,96	65,08	72,46	90,55	114,0	136,9	
	<b>0,030</b>	4,327	4,848	5,517	6,342	7,359	10,12	14,49	20,98	29,01	37,34	45,26	
		102,7	98,30	94,54	90,58	86,82	79,70	77,89	90,21	110,6	134,9	158,5	
<b>s h</b>	<b>0,035</b>	4,580	5,033	5,600	6,291	7,134	9,385	12,59	17,01	22,48	28,48	33,97	
		121,0	115,0	109,7	104,4	99,42	91,10	97,48	113,0	135,3	160,4	185,2	
	<b>0,040</b>	4,669	5,061	5,543	6,122	6,822	8,651	11,18	14,48	18,45	22,65	26,45	
		136,0	128,8	122,5	116,2	110,7	108,3	117,9	135,8	159,4	185,3	211,6	
	<b>0,045</b>	4,645	4,982	5,390	5,875	6,453	7,937	9,931	12,46	15,40	18,44	21,20	
		148,6	140,7	133,7	127,1	123,2	126,7	138,7	158,3	183,0	209,8	237,7	
	<b>0,050</b>	4,547	4,835	5,178	5,583	6,060	7,265	8,847	10,80	13,03	15,31	17,39	
		159,7	151,4	144,2	140,2	139,8	145,5	159,6	180,6	206,1	233,9	263,7	
	<b>0,060</b>	4,235	4,441	4,681	4,961	5,285	6,085	7,102	8,322	9,678	11,06		
		180,5	175,6	173,1	172,4	174,0	183,5	200,7	223,9	251,1	281,2		
<b>s h</b>	<b>0,070</b>	3,867	4,011	4,178	4,371	4,592	5,131	5,804	6,602	7,484	8,387		
		208,1	205,0	204,3	205,4	208,7	221,3	240,8	265,8	294,8	327,6		
	<b>0,080</b>	3,504	3,604	3,719	3,852	4,004	4,372	4,830	5,373	5,975			
		336,2	234,9	235,8	238,5	243,3	258,4	279,8	306,4	337,5			
	<b>0,090</b>	3,170	3,239	3,318	3,409	3,514	3,768	4,087	4,468	4,895			
<b>s h</b>		264,6	264,8	267,2	271,3	277,3	294,5	317,7	346,1	379,4			
	<b>0,100</b>	2,874	2,920	2,973	3,035	3,107	3,285	3,511	3,784				<b>R<sub>(p)</sub></b>
		292,9	294,6	298,3	303,6	310,7	329,8	354,7	384,9				<b>R<sub>(w)</sub></b>

# AD 2000-Merkblatt

AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012 Seite 25

**Tafel 17 — Rechenstützwerte**  
(Vergleichsspannung in der Mitte der Welleninnenkrempe)

<b>d</b>		<b>r/h</b>											
		<b>5,0</b>	<b>0,500</b>	<b>0,475</b>	<b>0,450</b>	<b>0,425</b>	<b>0,400</b>	<b>0,350</b>	<b>0,300</b>	<b>0,250</b>	<b>0,200</b>	<b>0,150</b>	<b>0,100</b>
<b>s</b>	<b>h</b>	<b>0,018</b>	4.559	5.621	7.016	8.737	10.84	17.20	27.69	44.00	67.65	96.11	120.7
		<b>0,020</b>	5.056	6.000	7.235	8.763	10.64	16.36	25.72	39.63	58.64	80.18	98.19
	<b>0,023</b>	55.71	53.89	52.86	51.79	50.84	48.57	45.54	45.61	57.41	74.72	92.14	
		66.21	63.65	61.82	59.89	58.10	54.29	50.31	53.86	67.26	85.26	102.9	
	<b>0,026</b>	5.637	6.458	7.519	8.830	10.45	15.15	22.94	33.84	47.72	62.44	74.64	
		80.44	76.74	73.72	70.59	67.65	61.97	58.18	66.84	82.06	100.8	118.9	
	<b>0,030</b>	6.034	6.764	7.695	8.837	10.24	14.03	20.38	28.96	39.28	49.75	59.41	
		92.79	88.03	83.93	79.77	75.90	68.97	69.57	80.20	96.72	115.9	134.7	
	<b>0,035</b>	6.327	6.959	7.748	8.708	9.876	12.97	17.37	23.66	30.84	38.33	45.42	
		106.6	100.7	95.41	90.23	85.53	79.49	85.50	98.20	115.9	135.7	155.5	
	<b>0,040</b>	6.419	6.944	7.588	8.360	9.288	11.69	14.97	19.18	24.14	29.30	33.96	
		120.6	113.6	107.4	101.5	96.44	97.57	106.0	120.6	139.4	160.0	181.3	
	<b>0,045</b>	6.313	6.747	7.269	7.889	8.624	10.49	12.96	16.03	19.54	23.12	26.38	
		132.2	124.6	118.0	113.4	112.6	116.3	126.6	142.5	162.2	183.8	206.9	
	<b>0,050</b>	6.095	6.449	6.870	7.366	7.947	9.401	11.28	13.57	16.12	18.72	21.11	
		142.3	134.6	131.3	129.6	129.7	135.2	147.1	164.1	184.6	207.2	232.3	
	<b>0,060</b>	5.816	6.104	6.442	6.838	7.298	8.435	9.882	11.61	13.53	15.49	17.30	
		153.5	149.3	146.9	146.1	147.0	154.1	167.3	185.2	206.5	230.3	257.5	
	<b>0,070</b>	5.203	5.390	5.606	5.857	6.147	6.855	7.741	8.789	9.946	11.13		
		182.1	179.4	178.6	179.3	181.7	191.4	206.6	226.3	249.4	276.0		
	<b>0,080</b>	4.614	4.732	4.869	5.029	5.214	5.663	6.228	6.898	7.643	8.421		
		210.8	209.6	210.2	212.3	215.9	227.8	244.8	266.1	291.3	320.9		
	<b>0,090</b>	4.093	4.166	4.251	4.352	4.470	4.760	5.130	5.576	6.081			
		239.6	239.6	241.5	244.7	249.4	263.1	281.8	304.9	332.4			
	<b>0,100</b>	3.646	3.689	3.741	3.803	3.878	4.066	4.313	4.619	4.972			
		268.0	269.3	272.3	276.5	282.2	297.6	317.9	342.9	372.8			
		3.268	3.291	3.319	3.356	3.402	3.523	3.690	3.903				<b>R(p)</b>
		296.0	298.4	302.4	307.6	314.1	331.2	353.2	380.2				<b>R(w)</b>

# AD 2000-Merkblatt

Seite 26 AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012

**Tafel 18 — Rechenstützwerte**  
(Vergleichsspannung in der Mitte der Welleninnenkrempe)

<b>d h</b>	<b>r/h</b>												
		<b>7,0</b>	0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100
<b>s h</b>	<b>0,018</b>	9,597	11,03	12,85	15,10	17,85	26,99	39,98	57,70	79,57	102,1	120,3	
		66,26	62,59	59,51	56,43	53,59	48,42	47,12	53,93	64,98	78,08	90,85	
	<b>0,020</b>	10,15	11,43	13,04	15,03	17,45	24,97	35,88	50,17	67,03	83,84	98,29	
		74,06	69,69	65,92	62,20	58,80	52,95	54,89	62,77	74,46	87,85	101,1	
	<b>0,023</b>	10,60	11,70	13,06	14,72	16,73	22,08	30,48	40,96	52,75	64,17	75,47	
		83,93	78,70	74,11	69,68	65,74	62,36	66,92	76,02	88,43	102,2	116,3	
	<b>0,026</b>	10,73	11,67	12,82	14,20	15,87	20,19	26,06	33,80	42,41	51,56	59,79	
		92,08	86,24	81,11	76,28	72,39	73,36	79,12	89,14	102,1	116,4	131,4	
	<b>0,030</b>	10,56	11,31	12,23	13,32	14,61	17,90	22,23	27,60	33,69	39,90	45,53	
		101,1	94,84	89,38	86,67	85,97	88,33	95,38	106,3	119,9	135,0	151,4	
	<b>0,035</b>	10,04	10,61	11,30	12,10	13,04	15,39	18,41	22,04	26,08	30,17	33,94	
		110,8	106,8	104,5	103,2	103,3	107,1	115,4	127,3	141,7	157,8	176,3	
	<b>0,040</b>	9,378	9,809	10,31	10,91	11,60	13,29	15,44	17,99	20,79	23,64	26,31	
		125,3	122,2	120,5	119,9	120,6	125,7	135,0	147,7	162,9	180,4	201,0	
	<b>0,045</b>	8,683	9,003	9,377	9,814	10,32	11,56	13,12	14,96	16,98	19,06	21,03	
		140,0	137,5	136,5	136,6	137,9	144,0	154,2	167,7	183,9	202,8	225,8	
	<b>0,050</b>	8,011	8,246	8,521	8,844	9,217	10,13	11,28	12,64	14,15	15,71	17,22	
		154,7	152,8	152,4	153,0	154,9	162,0	173,0	187,3	204,5	224,9	251,9	
	<b>0,060</b>	6,816	6,940	7,085	7,260	7,464	7,974	8,628	9,417	10,31	11,26		
		183,7	183,0	183,7	185,4	188,2	197,1	209,7	225,7	245,2	268,8		
	<b>0,070</b>	5,846	5,904	5,976	6,067	6,177	6,465	6,850	7,331	7,893	8,507		
		212,2	212,6	214,2	216,8	220,5	231,0	245,3	263,2	285,2	314,5		
	<b>0,080</b>	5,071	5,091	5,119	5,162	5,217	5,375	5,604	5,906	6,272			
		240,2	241,5	244,0	247,5	252,0	264,1	280,1	300,0	324,6			
	<b>0,090</b>	4,451	4,448	4,450	4,463	4,485	4,564	4,697	4,887	5,131			
		267,6	269,8	273,2	277,4	282,7	296,4	314,2	336,2	366,5			
	<b>0,100</b>	3,950	3,932	3,919	3,913	3,915	3,944	4,015	4,133				<b>R<sub>(p)</sub></b>
		294,5	297,5	301,7	306,7	312,8	328,2	347,7	371,9				<b>R<sub>(w)</sub></b>

# AD 2000-Merkblatt

AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012 Seite 27

**Tafel 19 — Rechenstützwerte**  
(Vergleichsspannung in der Mitte der Welleninnenkrempe)

<b>d h</b>		<b>r/h</b>											
		<b>10</b>	<b>0,500</b>	<b>0,475</b>	<b>0,450</b>	<b>0,425</b>	<b>0,400</b>	<b>0,350</b>	<b>0,300</b>	<b>0,250</b>	<b>0,200</b>	<b>0,150</b>	<b>0,100</b>
<b>s h</b>	<b>0,018</b>	19,18	21,07	23,40	26,22	29,81	39,38	52,93	69,41	87,49	104,8	121,5	
		65,73	61,32	57,46	53,82	50,67	50,58	54,22	60,81	69,46	79,08	89,20	
	<b>0,020</b>	19,18	20,81	22,79	25,18	28,03	35,36	45,74	58,49	72,18	86,23	99,32	
		70,57	65,85	61,74	57,96	57,07	58,03	62,28	69,32	78,28	88,25	99,05	
	<b>0,023</b>	18,67	19,97	21,53	23,39	25,58	31,10	38,29	47,08	56,93	66,90	75,98	
		76,78	71,84	69,23	67,88	67,47	69,26	74,26	81,85	91,25	101,8	113,8	
	<b>0,026</b>	17,83	18,86	20,08	21,52	23,20	27,39	32,75	39,17	46,26	53,44	60,05	
		83,47	80,69	78,94	77,96	77,91	80,43	86,03	94,10	104,0	115,3	128,4	
	<b>0,030</b>	16,49	17,24	18,11	19,14	20,33	23,27	26,97	31,35	36,16	41,05	45,64	
		95,52	93,17	91,87	91,35	91,75	95,10	101,4	110,1	120,7	133,0	147,8	
	<b>0,035</b>	14,79	15,28	15,85	16,52	17,31	19,23	21,64	24,49	27,63	30,87	33,97	
		110,4	108,6	107,9	107,9	108,8	113,0	120,1	129,6	141,2	155,0	172,0	
	<b>0,040</b>	13,21	13,53	13,90	14,35	14,86	16,14	17,76	19,70	21,86	24,12	26,33	
		125,1	123,8	123,6	124,1	125,4	130,5	138,4	148,7	161,4	176,8	196,7	
	<b>0,045</b>	11,83	12,03	12,27	12,56	12,90	13,76	14,88	16,23	17,77	19,41	21,04	
		139,6	138,8	139,0	140,0	141,8	147,6	156,3	167,5	181,4	198,4	222,1	
	<b>0,050</b>	10,65	10,76	10,91	11,09	11,32	11,90	12,68	13,65	14,77	15,99	17,23	
		153,8	153,5	154,2	155,6	157,8	164,4	173,9	186,1	201,2	219,9	247,6	
	<b>0,060</b>	8,760	8,782	8,820	8,882	8,968	9,224	9,608	10,12	10,75	11,47		
		181,7	182,3	183,9	186,0	189,0	197,3	208,4	222,6	240,3	264,2		
	<b>0,070</b>	7,370	7,345	7,329	7,329	7,345	7,434	7,612	7,885	8,249	8,688		
		209,0	210,4	212,8	215,7	219,5	229,3	242,3	258,6	279,0	310,5		
	<b>0,080</b>	6,324	6,275	6,231	6,200	6,178	6,176	6,238	6,372	6,580			
		235,7	237,9	241,0	244,7	249,3	260,7	275,5	294,1	320,7			
	<b>0,090</b>	5,518	5,457	5,399	5,350	5,308	5,254	5,248	5,298	5,407			
		262,0	264,9	268,8	273,3	278,6	291,7	308,3	330,0	363,4			
	<b>0,100</b>	4,882	4,815	4,751	4,693	4,640	4,556	4,508	4,504				<b>R(p)</b>
		287,9	291,5	296,1	301,3	307,4	322,1	340,7	369,6				<b>R(w)</b>

# AD 2000-Merkblatt

Seite 28 AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012

**Tafel 20 — Rechenstützwerte**  
(Vergleichsspannung in der Mitte der Welleninnenkrempe)

<b>d</b>		<b>r/h</b>											
<b>h</b>	<b>15</b>	0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100	
<b>s</b>	<b>0,018</b>	35,91	38,04	40,56	43,54	47,03	55,69	66,74	79,94	94,50	109,2	122,7	
	<b>0,020</b>	58,54	56,57	55,32	54,58	54,47	55,99	59,56	64,77	71,22	78,70	87,50	
	<b>0,023</b>	33,95	35,63	37,60	39,94	42,65	49,33	57,76	67,74	78,70	89,81	100,2	
	<b>0,026</b>	64,67	62,89	61,83	61,28	61,37	63,27	67,15	72,65	79,45	87,46	97,10	
	<b>0,030</b>	30,90	32,07	33,44	35,05	36,92	41,52	47,28	54,09	61,57	69,23	76,51	
	<b>0,035</b>	73,73	72,24	71,47	71,21	71,57	73,96	78,30	84,25	91,64	100,5	111,5	
	<b>0,040</b>	28,01	28,81	29,75	30,87	32,17	35,38	39,43	44,23	49,56	55,09	60,43	
	<b>0,045</b>	82,63	81,43	80,94	80,94	81,56	84,43	89,21	95,66	103,7	113,5	125,8	
	<b>0,050</b>	24,59	25,06	25,62	26,31	27,12	29,14	31,75	34,89	38,44	42,20	45,92	
	<b>0,060</b>	94,28	93,45	93,30	93,65	94,59	98,07	103,5	110,6	119,6	130,7	144,8	
<b>h</b>	<b>0,070</b>	21,06	21,28	21,56	21,92	22,36	23,51	25,06	27,00	29,26	31,71	34,20	
	<b>0,080</b>	108,5	108,1	108,4	109,2	110,5	114,7	120,9	129,1	139,3	152,0	169,3	
	<b>0,090</b>	18,26	18,33	18,44	18,61	18,83	19,47	20,41	21,64	23,12	24,79	26,53	
	<b>0,100</b>	122,5	122,5	123,2	124,3	126,0	131,1	138,1	147,3	158,8	173,2	194,1	
	<b>0,040</b>	136,2	136,6	137,7	139,2	141,3	147,2	155,1	165,3	178,1	194,4	219,0	
	<b>0,050</b>	16,02	16,00	16,01	16,07	16,16	16,49	17,04	17,83	18,83	19,99	21,24	
	<b>0,060</b>	149,7	150,5	152,0	153,9	156,4	163,0	171,9	183,2	197,4	216,6	244,0	
	<b>0,070</b>	11,52	11,40	11,29	11,20	11,12	11,04	11,07	11,22	11,51	11,92		
	<b>0,080</b>	176,4	177,9	180,2	182,8	186,1	194,3	205,0	218,5	235,5	261,7		
	<b>0,090</b>	9,640	9,501	9,367	9,244	9,133	8,952	8,846	8,831	8,913	9,093		
<b>0,100</b>	<b>0,070</b>	202,5	204,8	207,8	211,2	215,2	225,1	237,7	253,5	276,9	307,0		
	<b>0,080</b>	8,262	8,120	7,979	7,846	7,720	7,496	7,322	7,214	7,180			
	<b>0,090</b>	228,3	231,3	235,0	239,1	243,9	255,5	270,0	290,5	318,5			
<b>0,100</b>	<b>0,070</b>	7,217	7,077	6,937	6,803	6,673	6,430	6,223	6,063	5,960			
	<b>0,080</b>	253,8	257,5	261,9	266,7	272,3	285,5	303,3	329,1	360,2			
	<b>0,090</b>	6,399	6,264	6,129	5,997	5,868	5,620	5,397	5,208	<b>R<sub>(p)</sub></b>			
<b>0,100</b>	<b>0,080</b>	279,0	283,3	288,4	294,0	300,3	315,4	339,4	367,9	<b>R<sub>(w)</sub></b>			
	<b>0,090</b>												

# AD 2000-Merkblatt

AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012 Seite 29

**Tafel 21 — Rechenstützwerte**  
(Vergleichsspannung in der Mitte der Welleninnenkrempe)

<b>d h</b>		<b>r/h</b>											
		<b>20</b>	<b>0,500</b>	<b>0,475</b>	<b>0,450</b>	<b>0,425</b>	<b>0,400</b>	<b>0,350</b>	<b>0,300</b>	<b>0,250</b>	<b>0,200</b>	<b>0,150</b>	<b>0,100</b>
<b>s h</b>	<b>0,018</b>	50,86	52,72	54,89	57,46	60,44	67,76	76,94	87,78	99,71	111,9	123,6	
	<b>0,020</b>	57,96	56,81	56,21	56,00	56,25	58,02	61,25	65,72	71,31	78,08	86,53	
	<b>0,023</b>	46,65	47,98	49,55	51,42	53,59	58,95	65,72	73,75	82,66	91,91	100,9	
	<b>0,026</b>	63,89	62,92	62,49	62,45	62,86	64,93	68,45	73,25	79,28	86,67	96,01	
	<b>0,030</b>	41,03	41,82	42,77	43,92	45,28	48,69	53,09	58,41	64,42	70,77	77,05	
	<b>0,035</b>	72,60	71,90	71,73	71,93	72,58	75,09	79,07	84,41	91,14	99,50	110,2	
	<b>0,040</b>	36,29	36,74	37,28	37,98	38,82	41,02	43,94	47,58	51,77	56,31	60,89	
	<b>0,045</b>	81,14	80,70	80,77	81,21	82,09	85,06	89,52	95,44	102,9	112,3	124,3	
	<b>0,050</b>	31,17	31,32	31,54	31,87	32,29	33,49	35,21	37,47	40,17	43,19	46,31	
	<b>0,060</b>	92,32	92,20	92,59	93,34	94,52	98,11	103,3	110,0	118,5	129,2	143,7	
<b>R<sub>(p)</sub> R<sub>(w)</sub></b>	<b>0,070</b>	26,26	26,22	26,22	26,28	26,41	26,91	27,78	29,03	30,64	32,53	34,56	
	<b>0,080</b>	106,0	106,3	107,1	108,2	109,8	114,2	120,2	128,0	137,8	150,3	168,2	
	<b>0,090</b>	22,56	22,41	22,29	22,22	22,19	22,30	22,68	23,36	24,32	25,52	26,86	
	<b>0,100</b>	119,5	120,2	121,3	122,8	124,8	130,0	136,9	145,8	157,0	171,3	192,7	
	<b>0,045</b>	19,70	19,50	19,31	19,16	19,05	18,94	19,02	19,34	19,89	20,65	21,55	
	<b>0,050</b>	132,8	133,9	135,4	137,3	139,6	145,6	153,5	163,5	176,1	193,4	217,4	
	<b>0,060</b>	174,4	172,1	169,9	16,80	16,64	16,39	16,30	16,38	16,66	17,12	17,72	
	<b>0,070</b>	146,0	147,4	149,3	151,6	154,3	161,1	169,9	181,1	195,1	215,6	242,1	
	<b>0,080</b>	14,13	13,89	13,65	13,43	13,21	12,84	12,56	12,39	12,36	12,46		
	<b>0,090</b>	172,1	174,2	176,8	179,8	183,3	191,8	202,5	215,9	235,1	260,2		
	<b>0,100</b>	11,84	11,61	11,37	11,14	10,92	10,51	10,15	9,862	9,672	9,589		
	<b>0,045</b>	197,9	200,6	204,0	207,7	211,9	222,1	234,7	252,3	276,0	305,0		
	<b>0,050</b>	8,914	8,705	8,494	8,284	8,074	7,663	7,270	6,911	6,599			
	<b>0,060</b>	248,5	252,6	257,3	262,4	268,1	282,6	303,5	328,4	358,5			
	<b>0,070</b>	7,925	7,730	7,532	7,334	7,136	6,740	6,354	5,989				
	<b>0,080</b>	273,4	278,1	283,5	289,3	296,5	316,1	339,2	366,7				

# AD 2000-Merkblatt

Seite 30 AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012

**Tafel 22 — Rechenstützwerte**  
(Vergleichsspannung in der Mitte der Welleninnenkrempe)

<b>d h</b>		<b>r/h</b>											
		<b>30</b>	<b>0,500</b>	<b>0,475</b>	<b>0,450</b>	<b>0,425</b>	<b>0,400</b>	<b>0,350</b>	<b>0,300</b>	<b>0,250</b>	<b>0,200</b>	<b>0,150</b>	<b>0,100</b>
<b>s h</b>	<b>0,018</b>	75,24	76,10	77,17	78,55	80,23	84,64	90,56	97,96	106,5	115,8	125,2	
		56,28	55,95	55,97	56,24	56,80	58,77	61,75	65,74	70,80	77,19	85,46	
	<b>0,020</b>	67,25	67,65	68,20	68,99	70,01	72,84	76,86	82,07	88,29	95,19	102,3	
		61,85	61,68	61,86	62,28	63,00	65,27	68,59	72,98	78,56	85,64	94,83	
	<b>0,023</b>	57,61	57,60	57,68	57,92	58,32	59,68	61,90	65,01	68,94	73,48	78,30	
		70,08	70,15	70,55	71,20	72,15	74,89	78,74	83,77	90,15	98,27	109,0	
	<b>0,026</b>	50,14	49,89	49,70	49,63	49,67	50,16	51,30	53,13	55,63	58,67	62,02	
		78,19	78,49	79,13	80,00	81,18	84,40	88,80	94,47	101,7	110,9	123,4	
	<b>0,030</b>	42,54	42,12	41,75	41,46	41,23	41,06	41,35	42,15	43,47	45,25	47,35	
		88,89	89,49	90,42	91,59	93,08	96,96	102,1	108,7	117,0	127,6	142,8	
<b>s h</b>	<b>0,035</b>	35,60	35,11	34,63	34,21	33,83	33,24	32,96	33,04	33,51	34,36	35,50	
		102,1	103,1	104,4	105,9	107,8	112,5	118,6	126,3	136,0	148,8	167,0	
	<b>0,040</b>	30,53	30,01	29,51	29,03	28,58	27,80	27,22	26,91	26,89	27,18	27,74	
		115,2	116,5	118,2	120,1	122,4	127,9	134,9	143,8	154,9	170,7	191,3	
	<b>0,045</b>	26,68	26,17	25,66	25,17	24,70	23,83	23,10	22,56	22,25	22,19	22,38	
		128,3	129,9	131,9	134,2	136,8	143,2	151,2	161,2	174,2	192,5	215,7	
	<b>0,050</b>	23,67	23,18	22,68	22,19	21,72	20,81	20,01	19,34	18,85	18,57	18,51	
		141,2	143,2	145,5	148,2	151,2	158,4	167,4	178,5	194,2	214,5	240,2	
	<b>0,060</b>	19,29	18,83	18,37	17,92	17,47	16,58	15,73	14,95	14,28	13,76		
		166,9	169,5	172,6	175,9	179,7	188,6	199,5	214,8	234,5	258,6		
<b>s h</b>	<b>0,070</b>	16,25	15,84	15,43	15,01	14,59	13,75	12,92	12,13	11,40	10,77		
		192,3	195,6	199,3	203,4	207,9	218,4	233,4	252,2	274,9	303,0		
	<b>0,080</b>	14,04	13,67	13,29	12,91	12,52	11,74	10,96	10,18	9,444			
		217,5	221,4	225,8	230,5	235,8	250,4	268,4	289,7	315,6			
	<b>0,090</b>	12,35	12,01	11,67	11,32	10,96	10,24	9,501	8,763	8,038			
<b>s h</b>		242,5	247,0	252,0	258,8	266,3	283,4	303,5	327,5	356,5			
	<b>0,100</b>	11,02	10,71	10,39	10,07	9,746	9,075	8,385	7,685				<b>R(p)</b>
		267,5	274,2	281,5	289,2	297,6	316,6	338,9	365,4				<b>R(w)</b>

# AD 2000-Merkblatt

AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012 Seite 31

**Tafel 23 — Rechenstützwerte**  
(Vergleichsspannung in der Mitte der Welleninnenkrempe)

<b>d</b>	<b>h</b>	<b>r/h</b>											
		<b>45</b>	0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100
<b>s</b>	<b>0,018</b>	105,0	104,4	103,9	103,7	103,6	104,4	106,5	110,1	115,1	121,2	128,0	
		54,05	54,26	54,69	55,29	56,09	58,29	61,30	65,19	70,13	76,45	84,71	
	<b>0,020</b>	93,04	92,17	91,39	90,79	90,35	90,09	90,86	92,80	95,90	100,0	104,8	
		59,40	59,75	60,34	61,08	62,04	64,57	67,95	72,28	77,78	84,81	94,22	
	<b>0,023</b>	79,20	78,14	77,14	76,25	75,47	74,32	73,88	74,30	75,61	77,78	80,59	
		67,36	67,93	68,73	69,70	70,89	73,91	77,86	82,88	89,22	97,32	108,6	
	<b>0,026</b>	68,78	67,66	66,57	65,56	64,61	63,00	61,90	61,42	61,66	62,60	64,14	
		75,26	76,05	77,07	78,26	79,67	83,20	87,72	93,43	100,6	109,8	122,9	
	<b>0,030</b>	58,40	57,28	56,17	55,11	54,08	52,19	50,63	49,50	48,88	48,82	49,30	
		85,75	86,80	88,11	89,59	91,31	95,51	100,8	107,4	115,8	126,9	142,1	
<b>h</b>	<b>0,035</b>	49,04	47,98	46,92	45,87	44,84	42,86	41,06	39,53	38,35	37,59	37,29	
		98,77	100,2	101,8	103,7	105,8	110,8	117,1	124,9	134,6	148,5	166,2	
	<b>0,040</b>	42,23	41,24	40,24	39,24	38,25	36,30	34,44	32,75	31,30	30,16	29,40	
		111,7	113,4	115,4	117,6	120,1	126,0	133,2	142,2	154,3	170,2	190,3	
	<b>0,045</b>	37,06	36,14	35,21	34,27	33,33	31,46	29,62	27,89	26,31	24,96	23,94	
		124,6	126,7	129,0	131,6	134,4	141,1	149,3	159,7	174,1	191,9	214,5	
	<b>0,050</b>	33,01	32,16	31,29	30,41	29,53	27,74	25,97	24,24	22,62	21,17	19,98	
		137,5	139,8	142,5	145,4	148,6	156,2	165,4	178,1	194,0	213,7	238,8	
	<b>0,060</b>	27,07	26,33	25,58	24,81	24,03	22,43	20,81	19,18	17,58	16,07		
		163,0	165,9	169,3	172,9	176,8	186,0	199,2	214,9	233,9	257,5		
<b>d</b>	<b>0,070</b>	22,93	22,29	21,62	20,94	20,25	18,82	17,35	15,84	14,33	12,85		
		188,3	191,8	195,8	200,1	205,5	218,5	233,8	252,0	274,1	301,6		
	<b>0,080</b>	19,89	19,31	18,72	18,12	17,50	16,21	14,87	13,49	12,07			
		213,3	217,9	223,6	229,7	236,3	251,1	268,5	289,3	314,5			
	<b>0,090</b>	17,55	17,04	16,50	15,96	15,40	14,24	13,02	11,74	10,42			
		240,6	246,5	253,0	259,8	267,2	283,8	303,4	326,7	355,1			
	<b>0,100</b>	15,70	15,24	14,75	14,26	13,75	12,69	11,57	10,39				<b>R(p)</b>
		268,8	275,4	282,5	290,1	298,3	315,8	338,5	364,4				<b>R(w)</b>

# AD 2000-Merkblatt

Seite 32 AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012

**Tafel 24 — Rechenstützwerte**  
(Vergleichsspannung in der Mitte der Welleninnenkrempe)

<b>d h</b>		<b>r/h</b>											
		<b>60</b>	<b>0,500</b>	<b>0,475</b>	<b>0,450</b>	<b>0,425</b>	<b>0,400</b>	<b>0,350</b>	<b>0,300</b>	<b>0,250</b>	<b>0,200</b>	<b>0,150</b>	<b>0,100</b>
<b>s h</b>	<b>0,018</b>	132,2	130,3	128,5	126,8	125,4	123,1	121,9	122,1	123,8	126,9	131,1	
		52,56	53,02	53,66	54,43	55,37	57,74	60,83	64,74	69,70	76,03	84,55	
	<b>0,020</b>	117,1	115,1	113,2	111,4	109,8	106,9	104,8	103,8	103,9	105,3	107,7	
		57,83	58,43	59,22	60,13	61,22	63,93	67,40	71,78	77,30	84,35	94,06	
	<b>0,023</b>	99,83	97,89	95,96	94,10	92,30	88,97	86,17	84,09	82,88	82,63	83,29	
		65,70	66,51	67,51	68,65	69,96	73,17	77,23	82,30	88,68	96,81	108,3	
	<b>0,026</b>	86,91	85,04	83,17	81,33	79,53	76,07	72,94	70,31	68,32	67,09	66,65	
		73,54	74,55	75,76	77,11	78,66	82,37	87,01	92,78	100,0	109,6	122,7	
	<b>0,030</b>	74,05	72,31	70,56	68,81	67,07	63,65	60,40	57,44	54,90	52,92	51,61	
		83,96	85,23	86,72	88,35	90,20	94,59	100,0	106,7	115,1	126,8	141,8	
<b>R(p) R(w)</b>	<b>0,035</b>	62,45	60,87	59,27	57,67	56,05	52,81	49,62	46,56	43,75	41,32	39,42	
		96,92	98,51	100,3	102,3	104,6	109,8	116,2	124,1	134,6	148,3	165,8	
	<b>0,040</b>	53,96	52,54	51,08	49,61	48,12	45,10	42,06	39,07	36,20	33,59	31,38	
		109,8	111,7	113,9	116,2	118,8	124,9	132,3	141,7	154,3	169,9	189,8	
	<b>0,045</b>	47,50	46,20	44,87	43,52	42,15	39,34	36,48	33,61	30,79	28,13	25,78	
		122,7	124,9	127,4	130,1	133,1	139,9	148,3	159,9	174,0	191,6	213,9	
	<b>0,050</b>	42,41	41,22	40,00	38,76	37,50	34,89	32,21	29,48	26,75	24,11	21,72	
		135,5	138,0	140,8	143,9	147,2	154,9	165,3	178,2	193,9	213,3	238,1	
	<b>0,060</b>	34,92	33,90	32,86	31,80	30,71	28,45	26,09	23,65	21,14	18,65		
		160,9	164,1	167,5	171,2	175,6	186,6	199,5	214,9	233,7	257,0		
<b>R(w)</b>	<b>0,070</b>	29,66	28,79	27,88	26,95	26,00	24,01	21,92	19,73	17,46	15,15		
		186,1	190,2	195,2	200,4	206,1	218,9	233,9	251,9	273,7	300,9		
	<b>0,080</b>	25,78	25,01	24,21	23,39	22,54	20,77	18,91	16,93	14,87			
		213,4	218,6	224,3	230,3	236,8	251,4	268,5	289,0	314,0			
	<b>0,090</b>	22,79	22,10	21,38	20,65	19,89	18,30	16,62	14,83	12,94			
<b>R(w)</b>		241,4	247,2	253,6	260,4	267,6	284,0	303,3	326,3	354,4			
	<b>0,100</b>	20,42	19,79	19,15	18,48	17,80	16,36	14,82	13,19				
		269,4	276,0	283,1	290,6	298,6	316,8	338,3	363,9				

# AD 2000-Merkblatt

AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012 Seite 33

**Tafel 25 — Rechenstützwerte**  
(Vergleichsspannung in der Mitte der Welleninnenkrempe)

<b>d h</b>	<b>100</b>	<b>r/h</b>											
		0,500	0,475	0,450	0,425	0,400	0,350	0,300	0,250	0,200	0,150	0,100	
<b>s h</b>	<b>0,018</b>	202,3	197,5	192,7	188,0	183,2	173,9	165,0	156,9	150,0	144,7	141,2	
		50,48	51,23	52,12	53,09	54,19	56,81	60,05	64,07	69,09	75,49	84,38	
	<b>0,020</b>	180,0	175,6	171,0	166,5	162,0	152,9	144,1	135,8	128,3	122,0	117,2	
		55,70	56,59	57,61	58,72	59,98	62,93	66,56	71,05	76,65	83,97	93,85	
	<b>0,023</b>	154,4	150,4	146,3	142,2	138,0	129,5	121,0	112,7	104,9	97,86	92,03	
		63,52	64,59	65,82	67,14	68,62	72,08	76,30	81,50	87,97	96,74	108,1	
	<b>0,026</b>	135,2	131,6	127,8	124,0	120,2	112,3	104,3	96,26	88,46	81,16	74,81	
		71,32	72,58	74,00	75,54	77,25	81,20	86,02	91,92	99,51	109,5	122,3	
	<b>0,030</b>	115,9	112,7	109,4	106,0	102,5	95,35	87,99	80,49	72,98	65,72	59,12	
		81,68	83,19	84,89	86,70	88,70	93,33	98,93	105,8	115,1	126,6	141,4	
<b>0,035</b>	<b>98,40</b>	95,56	92,64	89,65	86,59	80,24	73,62	66,77	59,78	52,83	46,27		
		94,60	96,42	98,44	100,6	103,0	108,4	115,0	123,9	134,7	148,1	165,2	
	<b>0,040</b>	85,45	82,94	80,34	77,69	74,95	69,27	63,29	57,05	50,58	44,03	37,69	
		107,5	109,6	111,9	114,4	117,2	123,5	131,8	142,0	154,3	169,6	189,2	
	<b>0,045</b>	75,51	73,26	70,93	68,54	66,08	60,94	55,51	49,80	43,82	37,69	31,64	
		120,3	122,7	125,4	128,2	131,3	139,2	148,7	160,1	173,9	191,1	213,2	
	<b>0,050</b>	67,64	65,59	63,49	61,32	59,08	54,40	49,44	44,18	38,65	32,92	27,17	
		133,0	135,8	138,8	142,2	146,2	155,2	165,7	178,3	193,7	212,8	237,3	
	<b>0,060</b>	55,96	54,24	52,47	50,64	48,75	44,79	40,57	36,07	31,28	26,25		
		159,2	163,1	167,2	171,7	176,4	187,2	199,8	214,9	233,3	256,3		
<b>0,070</b>	<b>47,70</b>	46,23	44,70	43,12	41,50	38,07	34,40	30,47	26,27	21,81			
		186,8	191,3	196,1	201,3	206,8	219,3	234,1	251,7	273,2	300,0		
	<b>0,080</b>	41,57	40,27	38,93	37,55	36,11	33,10	29,86	26,39	22,65			
		214,5	219,6	225,2	231,1	237,4	251,7	268,5	288,7	313,3			
	<b>0,090</b>	36,82	35,67	34,47	33,24	31,96	29,27	26,38	23,36	19,91			
<b>0,100</b>		242,3	248,1	254,4	261,0	268,1	284,2	303,2	325,8	353,6			
		33,04	32,00	30,93	29,82	28,67	26,24	23,62	20,80				
		270,3	276,8	283,7	291,1	299,0	316,9	338,0	363,2		<b>R<sub>(p)</sub></b>		
											<b>R<sub>(w)</sub></b>		

# AD 2000-Merkblatt

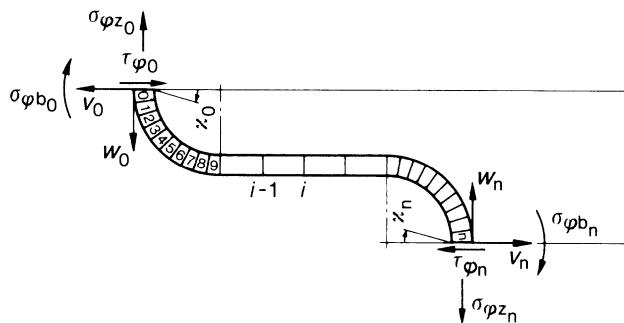
Seite 34 AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012

## Anhang 1: Erläuterungen

### Erläuterungen zum AD 2000-Merkblatt B 13

Grundlage der Ausgabe des AD 2000-Merkblattes B 13 ist die Dissertation „Festigkeitsberechnung einwandiger Balgkompensatoren“ von Dr. Friedrich an der MPA Stuttgart. Die an 150 Kompensatoren empirisch ermittelten Untersuchungsergebnisse werden durch ein numerisches Berechnungsverfahren (Übertragungs-Matrizen) untermauert. Mit Hilfe der Finite-Element-Methode wird die Richtigkeit der Übertragungs-Matrizen-Methode bestätigt.

Für die mathematische Formulierung des Verfahrens wird von einem Torus-Schalelement ausgegangen.



Es bedeuten:

- $\sigma_{\varphi z}$  Membranspannung
- $\sigma_{\varphi b}$  Biegespannung
- $\tau_{\varphi}$  Schubspannung
- $v$  Verschiebung in Richtung der Schalennormalen
- $w$  Axialverschiebung einer Balgwelle (Verschiebung in Meridianrichtung)
- $\times$  Drehung der Schalennormale

Die Bezeichnung dieser Verschiebungs- und Beanspruchungsgrößen bezieht sich auf das oben dargestellte Rechenmodell der halben Kompensatorwelle. Die hier verwendeten Bezeichnungen und Größen stehen in keinem direkten Zusammenhang mit den im Merkblatt selbst verwendeten Bezeichnungen und Größen.

Aus diesem Element lässt sich mit Hilfe der Gleichgewichtsbedingungen, der geometrischen Beziehung zwischen Dehnungen und Verschiebungen sowie dem Hooke'schen Gesetz ein lineares Differentialgleichungssystem formulieren. Dieses System ist im Prinzip lösbar, aber nicht als geschlossene Lösung, sondern als Näherungslösung, indem die Differentialgleichung in eine Differenzengleichung umgeformt wird. Das System der linearen Differenzengleichungen wird mit Hilfe der Matrizenrechnung gelöst. Die Methode des Übertragungs-Matrizen-Verfahrens ist an Rotationsform und Dünngewandigkeit des Bauteils gebunden. Diese Bedingungen sind beim Kompensator gegeben. Es wurde festgestellt,

dass bei einem Verhältnis  $\frac{r + \frac{s}{2}}{s} \geq 4$  kein Einfluss auf die Rechengenauigkeit analysierbar ist.

In jedem Punkt („Stufe“  $i = 0$  bis  $n$ ) werden sowohl für die Dehnung\* als auch für den Innendruck\*) die Spannungen  $\sigma_{\varphi z}$ ,  $\sigma_{\varphi b}$  und  $\tau_{\varphi}$  ermittelt. Gesucht wird das Maximum im Profil. Mit Hilfe der Gestaltänderungs-Energie-Hypothese werden die einzelnen Spannungen zu einer Vergleichsspannung  $\sigma_{v(p)}$  bzw.  $\sigma_{v(w)}$  zusammengefasst.

Wegen der Darstellbarkeit müssen die vier variablen Größen eines Kompensators  $d$ ,  $r$ ,  $s$  und  $h$  auf drei Größen reduziert werden. Dies geschieht durch die Division durch  $h$  zu  $\frac{d}{h}$ ,  $\frac{r}{h}$  und  $\frac{s}{h}$ . Die Auswertung der Ergebnisse wurde mit folgenden

Werten durchgeführt:

$$\begin{aligned} h &= 50 \text{ mm} \\ E_{20} &= 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2 \\ \mu &= 0,3 \end{aligned}$$

Die Wellentiefe  $h$  wurde mit  $h = 50 \text{ mm}$  gewählt, da die meisten untersuchten Kompensatoren mit dieser Wellentiefe ausgeführt waren. Es wurde hier der lineare Zusammenhang zwischen äußerer Belastung und Spannungsverteilung geometrisch ähnlicher Bauteile ausgenutzt. Es ist hierbei festzustellen, dass sich sämtliche geometrische Parameter auf die Schalenmitte beziehen.

\*) Andere als in Abschnitt 2.2 dieses AD 2000-Merkblattes genannte Beanspruchungen werden bei der Berechnung nicht berücksichtigt. Dieses Verfahren ist insbesondere auf Lateralbewegung nicht anwendbar.

Die Rechenstützwerte  $R_{(p)}$ ,  $R_{(w)}$  und  $R_{(c_w)}$  haben folgende Bedeutung:

$$R_{(p)} \left( \frac{d}{h}, \frac{s}{h}, \frac{r}{h} \right) \quad \text{Vergleichsspannung bei 1 bar Überdruck}$$

$$R_{(w)} \left( \frac{d}{h}, \frac{s}{h}, \frac{r}{h} \right) \quad \text{Vergleichsspannung bei 1 mm Axialverschiebung}$$

$$R_{(c_w)} \left( \frac{d}{h}, \frac{s}{h}, \frac{r}{h} \right) \quad \text{Axialkraft je mm mittleren Umfangs bei 1 mm Axialverschiebung}$$

### Erläuterung der Formel (3)

Da der Rechenstützwert  $R_{(w)}$  auf eine Wellentiefe von  $h = 50$  mm und auf einen  $E$ -Modul von  $210\,000 \text{ N/mm}^2$  bezogen ist, lautet die genaue Schreibweise dieser Gleichung

$$\sigma_{v(w)} = \frac{50}{h} \cdot \frac{E}{210\,000} \cdot R_{(w)} \cdot w$$

Der Ausdruck  $50/210\,000$  wurde zu dem Faktor  $2,38 \cdot 10^{-4} \sim 2,4 \cdot 10^{-4}$  zusammengefasst.

### Erläuterung der Formel (4)

Da der Rechenstützwert  $R_{(c_w)}$  auf einen  $E$ -Modul von  $210\,000 \text{ N/mm}^2$  bezogen ist, lautet die genaue Schreibweise dieser Gleichung

$$c_w = \pi \cdot (d + h) \cdot \frac{E}{210\,000} \cdot R_{(c_w)}$$

wobei  $\pi \cdot (d + h)$  der mittlere Umfang der Kompensatorwelle ist. Der Ausdruck  $\pi/210\,000$  wurde zu dem Faktor  $0,15 \cdot 10^{-4}$  zusammengefasst.

### Erläuterung zu Formel (5)

Die Beziehung zwischen Biegewinkel  $\alpha$  in Grad und einer Axialverschiebung  $w$  lautet

$$\alpha = \frac{360/\pi \cdot w}{d + 2h}$$

Der Ausdruck  $360/\pi$  ergibt annähernd  $1,15 \cdot 10^2$ .

### Erläuterung der Formel (6)

Die Formel (6) wird durch Einsetzen von

$$w = \frac{\pi}{360} \cdot (d + 2h) \cdot \alpha$$

aus Formel (3) ermittelt.

$$\sigma_{v(\alpha)} = 2,4 \cdot 10^{-4} \frac{E}{h} \cdot R_{(w)} \cdot \frac{\pi}{360} \cdot (d + 2h) \cdot \alpha$$

Der Ausdruck  $2,4 \cdot 10^{-4} \cdot \pi / 360$  ergibt den Faktor  $2,1 \cdot 10^{-6}$ .

### Erläuterung der Formel (7)

Allgemein gilt

$$c_\alpha = \frac{M}{\alpha}$$

wobei  $M = 0,125 \cdot (d + 2h)^2 \cdot \hat{\alpha} \cdot c_w$

Mit  $\hat{\alpha} = \frac{\pi}{180} \cdot \alpha^\circ$  folgt

$$M = \frac{\pi}{1440} \cdot (d + 2h)^2 \cdot c_w \cdot \alpha$$

$$c_\alpha = \frac{M}{\alpha} = \frac{\pi}{1440} \cdot (d + 2h)^2 \cdot c_w = 2,2 \cdot 10^{-3} \cdot (d + 2h)^2 \cdot c_w \quad [\text{Nmm}/^\circ]$$

# AD 2000-Merkblatt

Seite 36 AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012

oder in [Nmm/ $^\circ$ ] ausgedrückt

$$c_\alpha = 2,2 \cdot 10^{-6} \cdot (d + 2h)^2 \cdot c_w$$

## Erläuterung der Formel (14)

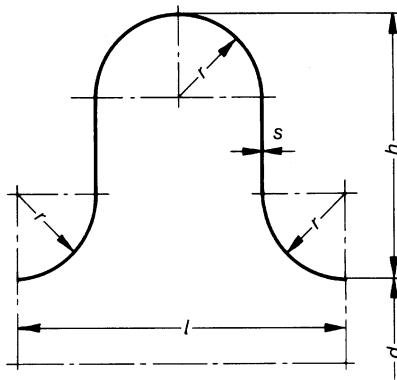
$$\sigma_{V(p)} = \frac{n}{S_{vp}} \cdot K = 1,5 \cdot \frac{n}{1,2} \cdot \frac{K}{1,5} = \frac{n}{1,2} \cdot K$$

mit  $S_{vp} = 1,2$  und  $S = 1,5$ . Der effektive Stützfaktor beträgt  $\frac{1,5}{1,2} = 1,25$  bei  $n = 1,5$ .

## Erläuterung der Formel (15)

Die Stützziffer  $n$  ist von der Form und vom Werkstoff abhängig. Die Formabhängigkeit drückt sich in dem gegenüber einem Balken (mit  $n = 1,5$ ) erhöhten Faktor 1,55 aus (s. Dissertation S. 44, Bild 33). Die Werkstoffabhängigkeit — hier ist speziell an hochfeste Werkstoffe gedacht — kommt im zweiten Teil der Formel zum Ausdruck. Mit zunehmender Streckgrenze nimmt die Stützziffer für gleiche plastische Dehnung ab. Die Formel gilt bis 350 °C, darüber ist Abschnitt 6.4 zu beachten.

## Erläuterung der Formel (16)



Die mittlere Umfangsspannung nach der Flächenmethode beträgt

$$\sigma_{um} = \frac{A_p}{A_\sigma \cdot v} \cdot p$$

$$A_p = (d + 2h - 2r) \cdot 2r + 2r \cdot (d + 2r) = 4r \cdot (d + h)$$

$$A_\sigma = \left[ (h - 2r) \cdot 4 + 8 \cdot \frac{2\pi \cdot r}{4} \right] \cdot s = [4h - 4r \cdot (2 - \pi)] \cdot s$$

$$\sigma_{um} = \frac{4r \cdot (d + h)}{[4h - 4r \cdot (2 - \pi)] \cdot s \cdot v} \cdot p \quad \text{mit } p \text{ in bar}$$

$$\boxed{\sigma_{um} = \frac{l \cdot (d + h)}{40 \cdot s \cdot (1,14r + h) \cdot v} \cdot p \quad [\text{N/mm}^2]}$$

Zur Bestimmung von  $c_f$  in (17a) und  $c_p$  in (17b):

$$C_3 = \frac{l}{2 \cdot h}$$

$$C_4 = \frac{l}{2,2 \cdot \sqrt{d_m \cdot s^*}}$$

## Zur Formel (17a):

$$C_f = \beta_0 + \beta_1 C_3 + \beta_2 C_3^2 + \beta_3 C_3^3 + \beta_4 C_3^4 + \beta_5 C_3^5$$

# AD 2000-Merkblatt

AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012 Seite 37

## Polynom Koeffizienten $\beta_i$ zur Bestimmung von $C_f$

$C_4$	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$
= 0,2	1,006	2,375	-3,977	8,297	-8,394	3,194
0,4	1,007	1,820	-1,818	2,981	-2,430	0,870
0,6	1,003	1,993	-5,055	12,896	-14,429	5,897
0,8	1,003	1,338	-1,717	1,908	0,020	-0,550
1	0,997	0,621	-0,907	2,429	-2,901	1,361
1,2	1,00	0,112	-1,410	3,483	-3,044	1,013
1,4	1,00	-0,285	-1,309	3,662	-3,467	1,191
1,6	1,001	-0,494	-1,879	4,959	-4,569	1,543
2	1,002	-1,061	-0,715	3,103	-3,016	0,990
2,5	1,00	-1,310	-0,829	4,116	-4,360	1,555
3	0,999	-1,521	-0,039	2,121	-2,215	0,770
3,5	0,998	-1,896	1,839	-2,047	1,852	-0,664
4	1,00	-2,007	1,620	-0,538	-0,261	0,249

**zur Formel (17b):**

$$C_p = \delta_0 + \delta_1 C_3 + \delta_2 C_3^2 + \delta_3 C_3^3 + \delta_4 C_3^4 + \delta_5 C_3^5$$

## Polynom Koeffizienten $\delta_i$ zur Bestimmung von $C_p$ für $C_3 \leq 0,3$

$C_4$	$\delta_0$	$\delta_1$	$\delta_2$	$\delta_3$	$\delta_4$	$\delta_5$
= 0,2	1,001	-0,448	-1,244	1,932	-0,398	-0,291
0,4	0,999	-0,735	0,106	-0,585	1,787	-1,022
0,6	0,961	-1,146	3,023	-7,488	8,824	-3,634
0,8	0,955	-2,708	7,279	14,212	-104,242	133,333
1	0,95	-2,524	10,402	-93,848	423,636	-613,333
1,2	0,95	-2,296	1,63	16,03	-113,939	240
1,4	0,95	-2,477	7,823	-49,394	141,212	-106,667
1,6	0,95	-2,027	-5,264	48,303	-139,394	160
2	0,95	-2,073	-3,622	29,136	-49,394	13,333
2,5	0,95	-2,073	-3,622	29,136	-49,394	13,333
3	0,95	-2,073	-3,622	29,136	-49,394	13,333
3,5	0,95	-2,073	-3,622	29,136	-49,394	13,333
4	0,95	-2,073	-3,622	29,136	-49,394	13,333

# AD 2000-Merkblatt

Seite 38 AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012

## Polynom Koeffizienten $\delta_i$ zur Bestimmung von $C_p$ für $C_3 > 0,3$

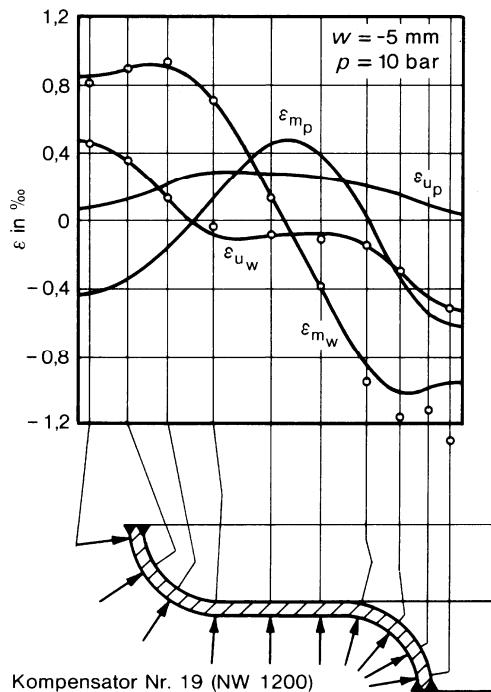
$C_4$	$\delta_0$	$\delta_1$	$\delta_2$	$\delta_3$	$\delta_4$	$\delta_5$
= 0,2	1,001	-0,448	-1,244	1,932	-0,398	-0,291
0,4	0,999	-0,735	0,106	-0,585	1,787	-1,022
0,6	0,961	-1,146	3,023	-7,488	8,824	-3,634
0,8	0,622	1,685	-9,347	18,447	-15,991	5,119
1	0,201	2,317	-5,956	7,594	-4,945	1,299
1,2	0,598	-0,990	3,741	-6,453	5,107	-1,527
1,4	0,473	-0,029	-0,015	-0,030	0,016	0,016
1,6	0,477	-0,146	-0,018	0,037	0,097	-0,067
2	0,935	-3,613	9,456	-13,228	9,355	-2,613
2,5	1,575	-8,646	24,368	-35,239	25,313	-7,157
3	1,464	-7,098	17,875	-23,778	15,953	-4,245
3,5	1,495	-6,904	16,024	-19,600	12,069	-2,944
4	2,037	-11,037	28,276	-37,655	25,213	-6,716

## Erläuterung der Formel (18)

Diese Formel ist das Hooke'sche Gesetz, in dem durch den Faktor  $f_2$  der teilplastischen Verformung und durch den Faktor  $f_1$  einer Schweißnaht Rechnung getragen wird. Die Bedeutung der effektiven Gesamtdehnungsschwingbreite  $2 \cdot \varepsilon_{ages}$  geht aus Bild 41 der Dissertation hervor. Sie kann direkt gemessen werden.

Unter den veränderlichen Spannungsanteilen  $\Delta$  ist hier der Zustand des An- und Abfahrens gemeint, z. B. von 0 bar Überdruck bis zum zul. Betriebsüberdruck. Druckschwankungen (wie in AD 2000-Merkblatt S 1 oder S 2) können über die Formel (24) berücksichtigt werden. Eine zusätzliche Bedingung ist, dass nur Spannungsanteile mit in die Berechnung einbezogen werden können, die zeitlich gemeinsam auftreten.

Die Addition der Spannungen (Formel 19) ist gerechtfertigt, da die Versuche gezeigt haben, dass an der Stelle der höchsten Beanspruchung (Innenkrempe) die Spannungen aus Druck und Axialverschiebung bzw. Biegung gleichgerichtet sind und sich somit überlagern. Ist eine der Komponenten  $p$ ,  $w$  oder  $\alpha$  konstant, wird der betreffende Spannungsteil  $\Delta$  gleich Null gesetzt.

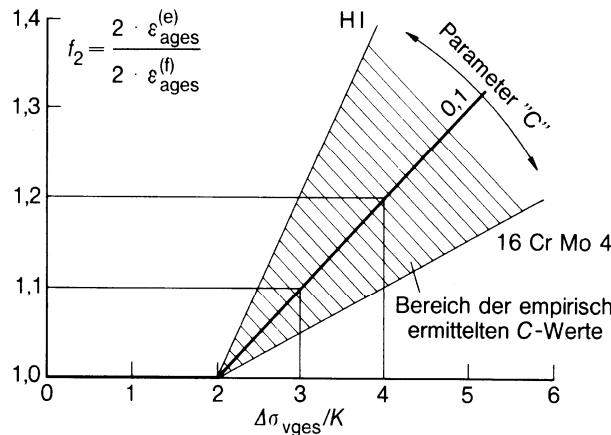


Dehnungsverlauf bei elastischer Beanspruchung in Umfangs- (Index  $u$ ) und Meridianrichtung (Index  $m$ ) bei Innendruckbelastung (Index  $p$ ) und axiale Zusammendrückung (Index  $w$ ).

## Erläuterung der Formel (20)

Der Faktor  $f_2$  berücksichtigt die teilplastische Verformung. Er wird nur ermittelt, wenn die Beanspruchung  $\Delta\sigma_{v\text{ges}}$  die doppelte Streckgrenze — das bedeutet den elastischen Anteil — überschritten hat. Dem wird in der Formel im zweiten Ausdruck durch die Subtraktion von 2 Rechnung getragen. Der dritte Ausdruck der Formel 0,1  $B$  berücksichtigt eine schrittweise Verformungszunahme (fortschreitendes plastisches Versagen oder incremental collapse) in Meridianrichtung. Aus dem Buchstaben  $C$  im zweiten Ausdruck geht hervor, dass der Faktor  $f_2$  nur bei Axialverschiebung bzw. Biegung (s. Tabelle) ermittelt wird.

## Graphische Darstellung der Formel (20)

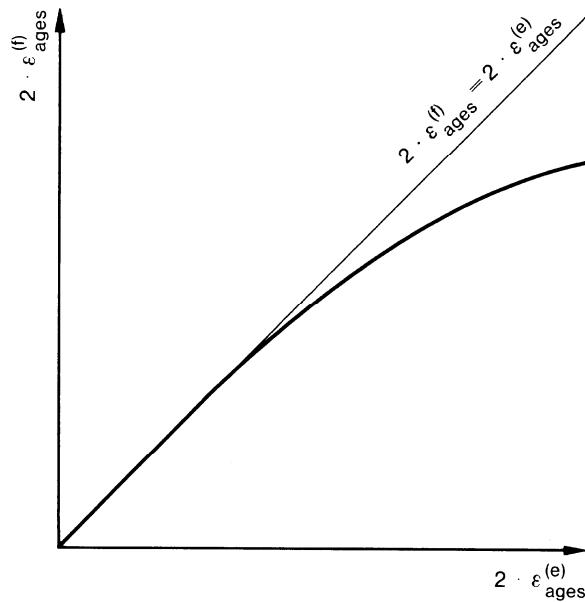


Es bedeuten:

$2 \cdot \varepsilon_{\text{ages}}^{(\text{e})}$  effektive Dehnungsschwingbreite, maßgebend für das Versagen von schwingend beanspruchten Bälgen

$2 \cdot \varepsilon_{\text{ages}}^{(\text{f})}$  fiktive = elastizitätstheoretische Dehnungsschwingbreite

Die Beziehung zwischen  $2 \cdot \varepsilon_{\text{ages}}^{(\text{f})}$  und  $2 \cdot \varepsilon_{\text{ages}}^{(\text{e})}$  kann graphisch folgendermaßen dargestellt werden:



Aufgrund des in den Versuchen ermittelten Streubereichs der  $C$ -Werte wurde im Mittel der Wert 0,1 für den dritten Ausdruck in der Formel (20) gewählt.

Bei Überlagerung der Axialverschiebung und Biegung wird Formel (21) verwendet. Hier ist der Spannungsanteil  $\Delta\sigma_{v(p)}$  anteilmäßig dem Spannungsanteil  $\Delta\sigma_{v(w)}$  bzw.  $\Delta\sigma_{v(\alpha)}$  hinzugeschlagen worden.

Die Erläuterung zu Faktor  $f_1$  ist auf Seite 54 der Dissertation gegeben. Er berücksichtigt die Oberfläche und das Gefüge der Schweißnaht. Die Schweißnaht liegt herstellungsbedingt in der Mitte der Außenkrempe und/oder der Innenkrempe. Durch die Versuche hat sich herausgestellt, dass die größere Beanspruchung in der Mitte der Innenkrempe liegt. Deswegen wurden zusätzlich die Tafeln 14 bis 25 geschaffen, die die Rechenstützwerte an dieser Stelle beinhalten. So kann dieser Punkt getrennt untersucht werden. Die Tafeln 2 bis 13 enthalten die Rechenstützwerte der höchstbeanspruchten Stelle des Profils. Wenn eine Rundnaht vorhanden ist, müssen beide Punkte (höchstbeanspruchte Stelle und Ort der Schweißnaht) untersucht werden. Der größere Wert von  $2 \cdot \varepsilon_{\text{ages}}$  ist maßgebend.

# AD 2000-Merkblatt

Seite 40 AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012

## Erläuterung der Formel (22)

Sie stellt die Gleichung der Geraden im doppellogarithmischen Diagramm dar (siehe Bilder 70 und 71 der Dissertation). Hiermit wird eine Beziehung zwischen der Lastwechselzahl  $N$  und der effektiven Gesamtdehnungsschwingbreite  $2 \cdot \varepsilon_{\text{ages}}$  hergestellt.

Unterhalb der Lastspielzahl wird der durch Literatur belegte Erfahrungsbereich verlassen. Ziel der unteren Grenze für die Lastspielzahl ist

- eine Begrenzung des Steifigkeitsabfalls aus dem Federweg mit Hinblick auf die Stabilität,
- die Sicherstellung der Gültigkeit der Formel (11), die strenggenommen nur für das elastische Verhalten des Balges gültig ist, auch im elasto-plastischen Bereich.

## Erläuterung zu Abschnitt 6.2.2, 2. Satz

Der Balg eines Angular- oder Lateralcompensators erfährt durch die Angularverdrehung bzw. den Lateralweg eine Biegung, die bei gleichzeitig wirkendem Innendruck zu einem seitlichen Ausweichen des Balges mit übermäßigen Verformungen führen kann.

## Erläuterung zu Abschnitt 6.4

Die Stützziffer  $n = 1,28$  bei hohen Temperaturen wurde aus den Versuchen ermittelt, wie aus der Dissertation auf Seite 65 zu entnehmen ist.

Für das vorliegende Berechnungsverfahren liegen im Bereich höherer Temperaturen nur Ergebnisse einzelner Kurzzeitversuche vor. Es ist beabsichtigt, damit Betriebserfahrungen zu sammeln. Zusätzliche Überwachungsmaßnahmen sind erforderlich.

## Werkstoffe

Bei den Versuchen wurden Kompensatoren aus folgenden Werkstoffen verwendet:

MRSt 34-2	1.0108
H I	1.0345
H II	1.0425
16 CrMo 4	1.7242
X 10 Cr Ni Ti 18 9	1.4541

Die in der Tafel 1 angegebenen  $C$ -Werte beziehen sich auf diese Werkstoffe.

## Interpolationsgleichungen

Die Zahlenwerte für  $R_{(p)}$ ,  $R_{(w)}$  und  $R_{(c_w)}$  werden den Tafeln 2 bis 13 bzw. 14 bis 25 entnommen. Zwischenwerte sind linear nach folgendem Schema zu interpolieren:

$\frac{d_u}{h}$	$\frac{r_u}{h}$	$\frac{r_o}{h}$
$\frac{s_u}{h}$	$R_{uu}^u$	$R_{uo}^u$
$\frac{s_o}{h}$	$R_{ou}^u$	$R_{oo}^u$

$\frac{d_o}{h}$	$\frac{r_u}{h}$	$\frac{r_o}{h}$
$\frac{s_u}{h}$	$R_{uu}^o$	$R_{uo}^o$
$\frac{s_o}{h}$	$R_{ou}^o$	$R_{oo}^o$

$$\Delta \frac{s}{h} = \frac{\frac{s}{h} - \frac{s_u}{h}}{\frac{s_o}{h} - \frac{s_u}{h}}$$
$$\Delta \frac{r}{h} = \frac{\frac{r}{h} - \frac{r_u}{h}}{\frac{r_o}{h} - \frac{r_u}{h}}$$
$$\Delta \frac{d}{h} = \frac{\frac{d}{h} - \frac{d_u}{h}}{\frac{d_o}{h} - \frac{d_u}{h}}$$

# AD 2000-Merkblatt

AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012 Seite 41

$$R_u^u = R_{uu}^u + (R_{ou}^u - R_{uu}^u) \cdot \Delta \frac{s}{h}$$

$$R_o^u = R_{uo}^u + (R_{oo}^u - R_{uo}^u) \cdot \Delta \frac{s}{h}$$

$$R_u^o = R_{uu}^o + (R_{ou}^o - R_{uu}^o) \cdot \Delta \frac{s}{h}$$

$$R_o^o = R_{uo}^o + (R_{oo}^o - R_{uo}^o) \cdot \Delta \frac{s}{h}$$

$$R^u = R_u^u + (R_o^u - R_u^u) \cdot \Delta \frac{r}{h}$$

$$R^o = R_u^o + (R_o^o - R_u^o) \cdot \Delta \frac{r}{h}$$

$$R = R^u + (R^o - R^u) \cdot \Delta \frac{d}{h}$$

# AD 2000-Merkblatt

Seite 42 AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012

# AD 2000-Merkblatt

AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012 Seite 43

# AD 2000-Merkblatt

Seite 44 AD 2000-Merkblatt B 13, Ausg. 07.2012

---

Herausgeber:



Verband der TÜV e.V.

E-Mail: [berlin@vdtuev.de](mailto:berlin@vdtuev.de)  
<http://www.vdtuev.de>

Bezugsquelle:

**Beuth**

Beuth Verlag GmbH  
10772 Berlin  
Tel. 030 / 26 01-22 60  
Fax 030 / 26 01-12 60  
[info@beuth.de](mailto:info@beuth.de)  
[www.beuth.de](http://www.beuth.de)