

Quelle: <https://www.arbeitssicherheit.de//document/a844b44b-0e65-38b5-9ce6-e5e861d8d617>

Bibliografie	
<b>Titel</b>	Technische Regeln für Dampfkessel Berechnung Zylinderschalen unter innerem Überdruck (TRD 301)
<b>Amtliche Abkürzung</b>	TRD 301
<b>Normtyp</b>	Technische Regel
<b>Normgeber</b>	Bund
<b>Gliederungs-Nr.</b>	Keine FN

## Abschnitt 5 TRD 301 - Berechnung gegen vorwiegend ruhende Innendruckbeanspruchung [\(1\)](#)

[\(2\)](#)

### 5.1. Zylinderschalen ohne Ausschnitte

5.1.1. Die Wanddicke ohne Zuschläge beträgt

$$s_v = \frac{d_i \cdot p}{(2\sigma_{zul} - p) \cdot \nu_N} = \frac{s_0}{\nu_N} \quad (5)$$

oder

$$s_v = \frac{d_a \cdot p}{(2\sigma_{zul} - p) \cdot \nu_N + 2p} \quad (6)$$

Gl. (5) und Gl. (6) liefern nur gleiche Ergebnisse, wenn

$$d_i = d_a - 2s_v \quad (7)$$

gesetzt wird.

### 5.2. Zylinderschalen mit schrägem Einzelabzweig

5.2.1. Das nachfolgende Berechnungsverfahren ist zulässig, sofern der Winkel  $\Psi_A \geq 45^\circ$  ist, [Bild 9](#). Eine unmittelbare Berechnung der Wanddicke des Grundkörpers ist im allgemeinen Falle des schrägen Abzweigen ohne und mit zusätzlich aufgebrachtener Verstärkung wegen der verschiedenen Einflußgrößen nicht möglich. Die Wanddicke  $s_v$  muß zunächst auf Grund der Erfahrung angenommen und die Richtigkeit der Annahme nachgeprüft werden.

5.2.2. Mit einer druckbelasteten Fläche  $A_p$  (einfach schraffiert) sowie mit den tragenden Querschnittsflächen  $A_{\sigma}$ , (kreuzschraffiert)

$$\bar{\sigma} = p \left( \frac{A_{pI}}{A_{\sigma I} + A'_{\sigma I} + f_1 \cdot A''_{\sigma I}} + \frac{1}{2} \right) \leq \sigma_{zul} \quad (8)$$

lautet die Festigkeitsbedingung für den Bereich I, [Bild 9](#),

für den Bereich II, [Bild 9](#)

$$\bar{\sigma} = p \left( \frac{A_{pII}}{A_{\sigma II} + A'_{\sigma II} + f_1 \cdot A''_{\sigma II}} + \frac{1}{2} \right) \leq \sigma_{zul} \quad (9)$$

Die mittragenden Längen dürfen höchstens eingesetzt werden für den Grundkörper mit

$$e_G = \sqrt{(d_i + s_v) s_v} \quad (10)$$

und für den Stutzen mit

$$e_A = \left( 1 + 0,25 \frac{\Psi_A}{90^\circ} \right) \sqrt{(d_{\text{Ä}} + s_{\text{Ä}}) s_{\text{Ä}}} \quad (11)$$

Bei einem nach innen überstehenden Stutzenteil kann nur der Anteil  $I_{A2} \leq 0,5 e_A$  als tragend in die Rechnung einbezogen werden.

Der Bewertungsfaktor  $f_1$  ist aus Tafel 2 zu entnehmen. Die auf Grund der Gl. (8) bzw. (9) ermittelte Wanddicke  $s_v$  darf nicht kleiner sein als die Wanddicke  $s_0$ , die für die Zylinderschale ohne Ausschnitte und ohne Zuschläge erforderlich ist.

**5.2.3.** Bestehen Grundkörper, Abzweig und Verstärkung aus Werkstoffen unterschiedlicher zulässiger Spannung, so ist, wenn der Werkstoff des Grundkörpers die kleinste zulässige Spannung  $\sigma_{\text{zul}}$  aufweist, diese für die Berechnung der gesamten Konstruktion maßgebend. Vorausgesetzt wird, daß das Verformungsvermögen von Abzweig und Verstärkung nicht nennenswert [3](#) kleiner ist als das des Grundkörpers.

**5.2.4.** Hat der Werkstoff des Abzweigs mit  $\sigma'_{\text{zul}}$  oder der zusätzlichen Verstärkung  $\sigma''_{\text{zul}}$  eine kleinere zulässige Spannung als der Grundkörper mit  $\sigma_{\text{zul}}$ , so kann die Bemessung auf Grund der Festigkeitsbedingung für den Bereich I

$$\left( \sigma_{\text{zul}} - \frac{p}{2} \right) A_{\text{I}} + \left( \sigma'_{\text{zul}} - \frac{p}{2} \right) A'_{\text{I}} + \left( \sigma''_{\text{zul}} - \frac{p}{2} \right) f_1 \cdot A''_{\text{I}} \geq p \cdot A_{\text{I}} \quad (12)$$

und für den Bereich II sinngemäß durchgeführt werden.

### 5.3. Zylinderschalen mit Einzelausschnitt und senkrechtem Einzelabzweig

**5.3.1.** Für den Einzelausschnitt mit senkrechtem Abzweig und zusätzlicher Verstärkungsscheibe werden die Bereiche I und II von [Bild 9](#) symmetrisch; die Berechnung erfolgt für Werkstoffe gleicher zulässiger Spannung noch Gl. (8). Werden Werkstoffe unterschiedlicher zulässiger Spannung verwendet so gelten die Abschnitte 5.2.3 und 5.2.4.

**5.3.2.** Für den Einzelausschnitt mit senkrechtem Abzweig ohne zusätzliche Verstärkung gilt die Festigkeitsbedingung

$$\bar{\sigma} = p \left( \frac{A_p}{A_\sigma} + \frac{1}{2} \right) \leq \sigma_{\text{zul}} \quad (13)$$

Werden Werkstoffe unterschiedlicher zulässiger Spannung verwendet, so gelten die Abschnitte 5.2.3 und 5.2.4.

Die mittragenden Längen sind nach den Gln. (10) und (11) zu bestimmen.

Werden bei ausgehalsten Abzweigen die druckbelasteten Flächen  $A_p$  und die tragenden Querschnittsflächen  $A_\sigma$ , wie bei aufgeschweißten oder durchgesteckten Abzweigen ermittelt, d.h. ohne Berücksichtigung der Aushalsungsradien, sind die tragenden Querschnittsflächen  $A_\sigma$ , mit 0,9 zu multiplizieren, um den Querschnittsverlust bei der üblichen Formgebung zu berücksichtigen. Im Fall der exakten Ermittlung der Flächen  $A_p$  und  $A_\sigma$  (z.B. durch Planimetrierung) braucht der Faktor 0,9 nicht angewendet zu werden.

$$s_v = \frac{d_i \cdot p}{(2\sigma_{\text{zul}} - p) \cdot v_A} = \frac{s_0}{v_A} \quad (14)$$

**5.3.3.** Die der Gl. (13) entsprechende Wanddicke des Grundkörpers läßt sich auch berechnen zu

wofür der Verschwächungsbeiwert  $v_A$  bei nicht ausgehalsten Abzweigen für  $s_v/d_i \leq 0,05$  aus [Bild 10](#) entnommen werden kann; Zwischenwerte sind zu interpolieren. Die Bilder [11, 12, 13, 14, 15, 16](#) sind geeignet zur Nachrechnung ausgeführter Konstruktionen. (Man beachte zwischen dem [Bild 10](#) und den Bildern [11, 12, 13, 14, 15, 16](#) die unterschiedlichen Bezugsgrößen  $s_v$  und  $s_0$ ). Die Bilder gelten stets für den gleichen Werkstoff von Grundkörper und Abzweig. Bei ausgehalsten Abzweigen ist der  $v_A$ -Wert mit 0,9 zu multiplizieren, um den Querschnittsverlust bei der üblichen Formgebung zu berücksichtigen.

**5.3.4.** Der Verschwächungsbeiwert kann bei gleicher zulässiger Spannung der Werkstoffe von Grundkörper und Abzweig auch errechnet werden zu

$$v_A = \frac{d_i \cdot A_p}{2s_v \cdot A_\sigma} = \frac{e_G + e_A \frac{s_{\text{Ä}}}{s_v} + s_{\text{Ä}}}{e_G + s_{\text{Ä}} + \frac{d_{\text{Ä}}}{d_i} (e_A + s_v) + \frac{d_{\text{Ä}}}{2}} \leq 1,0 \quad (15)$$

Für  $s_v/d_i = 0,05$ , [Bild 12](#), ergibt sich volle Übereinstimmung des Verschwächungsbeiwertes nach Gl. (15) und denen der Bilder 10 und 11 Für s

der nach Gl. (15) errechnete Wert maßgebend.

Bestehen Grundkörper und Abzweig aus Werkstoffen mit unterschiedlichen zulässigen Spannungen, so gelten die Abschnitte 5.2.3 und 5.2.4. In Übereinstimmung mit Gl. (12) ergibt sich der Verschwächungsbeiwert zu

$$v_A = \frac{d_i (A_{\sigma} + \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{zul}} A'_{\sigma})}{s_v (2A_p + A'_{\sigma} - \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{zul}} A'_{\sigma})} \quad (15a)$$

Die Art der Wanddickenermittlung ist in den Vorprüfunterlagen anzugeben.

**5.3.5.** Die Verschwächungsbeiwerte gelten für bündig mit der Innenwand des Grundkörpers abschließende Abzweige und für den Fall, daß die mittragenden Längen  $e_G$  nach Gl. (10) am Grundkörper sowie  $e_A$  nach Gl. (11) am Abzweig vorhanden sind. In dies nicht der Fall, gelten die [Bilder 11, 12, 13, 14, 15, 16](#) nicht, und Gl. (13) muß angewendet werden. Ist der Bohrungsdurchmesser im Grundkörper  $< d_{Ai}$ , dann ist trotzdem mit  $d_{Ai}$  zu rechnen.

**5.3.6.** Abzweigstücke nach den [Bildern 5](#) und [6](#) oder ähnliche sind nach Gl. (13) zu berechnen. Hierzu sind planimetrierbare Zeichnungen vorzulegen.

Kegelige Ansätze und Ausrundungen werden bei der Flächenvergleichsrechnung durch flächengleiche Schnittflächen gemäß [Bild 17](#) ersetzt.

**5.3.7.** Bei Abzweigstücken, die mit der Warmstreckgrenze berechnet werden, mit  $d_{Ai}/d_i \geq 0,7$  und gleichzeitig  $s_{A0}/s_v < d_{Ai}/d_i$  ist im Querschnitt senkrecht zur Achse des Grundkörpers im Übergangsbereich Grundkörper/Abzweig zusätzlich folgende Bedingung zu erfüllen:

$$\frac{p}{1,5} \left[ \frac{d_i + s_v}{2 \cdot s_v} + 0,2 \cdot \frac{d_i + s_{A0}}{s_{A0}} \cdot \sqrt{\frac{d_i + s_v}{s_v}} \right] \leq \sigma_{zul} \quad (15b)$$

Bei Nachprüfungen gefertigter Bauteile ist in Gl. (15b) anstelle von  $s_v$  die tatsächlich ausgeführte Wanddicke im Übergangsbereich einzusetzen.

Bestehen Grundkörper und Abzweige aus Werkstoffen unterschiedlicher zulässiger Spannungen, ist in die Gl. (15b) für  $\sigma_{zul}$  der kleinste Wert einzusetzen.

#### 5.4. Zylinderschalen mit mehreren Ausschnitten und Abzweigen

**5.4.1.** Benachbarte Ausschnitte oder Abzweige werden wie Einzelausschnitte oder Einzelabzweige behandelt, wenn für den Mittenabstand  $\hat{r}_{\varphi}$  gemäß [Bild 18](#) und [19](#) die Beziehung gilt

$$\hat{r}_{\varphi} \geq \left( \frac{d_{Ai1}}{2} + s_{A01} \right) + \left( \frac{d_{Ai2}}{2} + s_{A02} \right) + 2 \sqrt{(d_i + s_v) s_v} \quad (16)$$

**5.4.2.** Im anderen Fall muß zusätzlich zu Abschnitt 5.3 die Festigkeitsbetrachtung für den durch die benachbarten Ausschnitte oder Abzweige unter dem Winkel  $\varphi_A$  zur Mantellinie gelegten Schnitt gemäß [Bild 18](#) und [19](#) durchgeführt werden, wobei die Festigkeitsbedingung gilt

$$\sigma_{\varphi} = \frac{p}{2} \cdot \frac{A_{p0} (1 + \cos^2 \varphi_A) + 2A_{p1} + 2A_{p2}}{A_{\sigma 0} + A_{\sigma 1} + A_{\sigma 2}} + \frac{p}{2} \leq \sigma_{zul} \quad (17)$$

Schräg- und/oder Umfangsteilungen werden rechnerisch auf eine Längsteilung zurückgeführt, wobei in der Festigkeitsbedingung nach Gl. (17) die Druckfläche  $2A_{p0}$  durch den Faktor  $(1 + \cos^2 \varphi_A)/2$  korrigiert wird.

Bestehen Grundkörper, Abzweig und Verstärkung aus Werkstoffen unterschiedlicher zulässiger Spannung und weist der Werkstoff des Grundkörpers den kleinsten Wert auf, so ist nach Abschnitt 5.2.3 zu verfahren. Ist die zulässige Spannung der Abzweige geringer als die des Grundkörpers, so gilt

$$\left( \sigma_{zul} - \frac{p}{2} \right) A_{\sigma 0} + \left( \sigma_{zul} - \frac{p}{2} \right) A_{\sigma 1} + \left( \sigma_{zul} - \frac{p}{2} \right) A_{\sigma 2} \geq \frac{p}{2} \left[ A_{p0} (1 + \cos^2 \varphi_A) + 2A_{p1} + 2A_{p2} \right] \quad (18)$$

In Übereinstimmung mit Gl. (18) kann der Verschwächungsbeiwert bestimmt werden zu:

$$v_L = \frac{d_i (A_{\sigma 0} - \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{zul}} A_{\sigma 1} - \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{zul}} A_{\sigma 2})}{s_v \left[ A_{p0} (1 + \cos^2 \varphi) + 2A_{p1} + 2A_{p2} + A_{\sigma 1} + A_{\sigma 2} - \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{zul}} A_{\sigma 1} - \frac{\sigma_{zul}}{\sigma_{zul}} A_{\sigma 2} \right]} \quad (18a)$$

**5.4.3.** Bei benachbarten Ausschnitten oder Abzweigen gleichen Durchmessers aus Werkstoffen gleicher zulässiger Spannung mit einem kleineren Mittenabstand  $t_{\varphi}$ , als noch Gl. (16) ergibt sich die Mittelspannung  $\sigma_{\varphi}$  im Schnitt unter dem Winkel  $\varphi_A$  zur Achsrichtung mit  $A_{\sigma 1} = A_{\sigma 2}$  sowie  $A_{p1} = A_{p2}$ , [Bild 18](#), zu

$$\bar{\sigma}_{\varphi} = \frac{p}{2} \cdot \frac{A_{p0} (1 + \cos^2 \varphi_A) + 4A_{p1}}{A_{\sigma 0} + 2A_{\sigma 1}} + \frac{p}{2} \leq \sigma_{zul} \quad (19)$$

Werden Werkstoffe unterschiedlicher zulässiger Spannung verwendet, so ist sinngemäß nach Abschnitt 5.4.2 zu verfahren.

**5.4.4.** Bei ungleichen Teilungsabständen  $t_{\varphi 1}$  und  $t_{\varphi 2}$  nach [Bild 20](#) ist die größte Stegbeanspruchung für die Bemessung der Wanddicke maßgebend. Diese Wanddicke des Grundkörpers muß allseitig bis zu einer Länge  $e_G$  nach Gl. (10), vom Rand der Ausschnitte gemessen, vorhanden sein.

**5.4.5.** Bei Lochfeldern ist die Festigkeitsbetrachtung für die in Längs-, Umfangs- und Schrägrichtung verlaufenden Stege durchzuführen, wobei die größte Beanspruchung für die Bemessung der Wanddicke  $s_v$  maßgebend ist.

**5.4.6.** Für den Fall, daß an die Ausschnitte Rohre mit dem Außendurchmesser  $d_{Aa}$ , anschließen, die entsprechend ihrer Wanddicke  $s_{A0}$  nur den Innendruck aufnehmen können, ergibt sich die mittlere Beanspruchung zu

$$\bar{\sigma}_{\varphi} = \frac{d_i \cdot p (1 + \cos^2 \varphi_A) \cdot f_{\varphi}}{4s_v (f_{\varphi} - d_{Aa})} + \frac{p}{2} \leq \sigma_{zul} \quad (20)$$

Mit dem Verschwächungsbeiwert

$$v_L = \frac{2(f_{\varphi} - d_{Aa})}{(1 + \cos^2 \varphi_A) \cdot f_{\varphi}} \leq 1 \quad (21)$$

der für eine Längsteilung ( $\varphi_A = 0$ ) zu

$$v_L = \frac{f_1 - d_{Aa}}{f_1} \leq 1 \quad (22)$$

und für eine Umfangsteilung ( $\varphi_A = 90^\circ$ ) zu

$$v_L = \frac{2(f_u - d_{Aa})}{f_u} \leq 1 \quad (23)$$

wird, ergibt sich die Wanddicke

$$s_v = \frac{d_i \cdot p}{(2\sigma_{zul} - p) \cdot v_L} \quad (24)$$

Für Lochfelder mit symmetrisch versetzter Anordnung gilt der kleinste für Umfangs-, Längs- oder Schrägstege berechnete oder der aus [Bild 21](#) zu entnehmende Verschwächungsbeiwert als  $v_L$ -Wert.

**5.4.7.** Die Art der Wanddickeermittlung ist in den Vorprüfunterlagen anzugeben.

## 5.5. Zylinderschalen mit einem nicht radial angeordneten Abzweig(4)

**5.5.1.** Für Zylinderschalen, [Bild 22 Teilbilder a](#) und [b](#), bei denen der Abzweig nicht radial, sondern unter dem Winkel  $\Psi_{A1}$  zur Tangente an den Grundkörper angeordnet ist, kann die größere Beanspruchung im Querschnitt, [Bild 22 Teilbild a](#), oder im Längsschnitt, [Bild 22 Teilbild b](#), auftreten. In beiden Fällen gilt die Festigkeitsbedingung nach Gl. (13), wobei jeweils die in den

Bildern gekennzeichneten Flächen  $A_p$  und  $A_{\sigma}$  einzusetzen sind.

Die mittragenden Längen dürfen höchstens eingesetzt werden für den Grundkörper nach Gl. (10) und für den Abzweig nach Gl. (11), wobei  $\Psi_A = \Psi_{A1}$  zu setzen ist.

**5.5.2.** Die Abzweigwanddicke  $s_{A0}$  soll nicht größer sein als die Wanddicke  $s_v$  des Grundkörpers. Die Schweißverbindung zwischen Grundkörper und Abzweig muß volltragend sein, wie in [Bild 22](#) angedeutet.

**5.6. Zylinderschalen mit Y-förmigem Abzweig [\(5\)](#)**

**5.6.1.** Zylinderschalen, die sich gabelförmig verzweigen (Y-Stücke), können als Schmiedestücke, [Bild 23](#), oder als Schweißkonstruktionen, beispielsweise nach [Bild 24](#), ausgeführt werden mit  $\Psi_A \geq 15^\circ$ . Die Festigkeitsbedingungen für die beiden hochbeanspruchten Bereiche I und II, Bilder [23, 24](#) und [27](#), lauten für den Bereich I

$$\bar{\sigma} = p \cdot f_5 \left( \frac{A_{pI}}{A_{\sigma I}} + \frac{1}{2} \right) \leq \sigma_{zul} \quad (25) \text{ bzw.}$$

$$\bar{\sigma} = p \cdot f_5 \left( \frac{A_{pI}}{A_{\sigma I} + f_1 \cdot A_{\sigma I}} + \frac{1}{2} \right) \leq \sigma_{zu} \quad (26) \text{ für den Bereich II}$$

$$\bar{\sigma} = p \cdot \left( \frac{A_{pII}}{A_{\sigma II}} + \frac{1}{2} \right) \leq \sigma_{zul} \quad (27)$$

Die mittragenden Längen dürfen höchstens eingesetzt werden für den Grundkörper nach Gl. (10) und für den Abzweig nach Gl. (11).

Der Faktor  $f_5$  in den Gl. (25) und (26) beträgt für Abzweige

<p>mit <math>\Phi_A \geq 45^\circ</math>                  und für Abzweige mit einem                  da <math>\leq 102 \text{ mm}</math> und <math>15^\circ \leq \Phi_A &lt; 45^\circ</math></p>	<p><math>f_5 =</math>  <math>1</math>  <math>f_5 =</math>  <math>1 +</math>  <math>0,005</math>  <math>(45^\circ -</math>  <math>\Phi_A)</math>.</p>
---	--

**5.6.2.** Eine rippenförmige Verstärkung muß volltragend mit Grundkörper und Abzweigen verschweißt sein. Für die Breite  $b_s$  der Verstärkungsrippe gilt  $s_v < b_s < 2 s_v$

**5.6.3.** Der Bewertungsfaktor  $f_1$  für die Tragfähigkeit einer solches Verstärkung richtet sich nach dem Verhältnis  $s_s/b_s$  und der Ausführung der Schweißnähte und ist nach [Tafel 2 Ziffer 3](#) einzusetzen. Zwischenwerte können interpoliert werden

**5.7. Zylinderschalen als geschmiedete Formstücke (Krümmer)**

Für geschmiedete und aufgebohrte Formstücke mit  $s_v/d_i \geq 0,1$  und  $d_i < 90 \text{ mm}$  z.B. nach [Bild 28](#), gilt im Bereich der Warmstreckgrenze die Festigkeitsbedingung

$$\bar{\sigma} = p \left( \frac{A_p}{A_z} + \frac{1}{2} \right) \leq \sigma_{zul}$$

Die mittragenden Längen dürfen höchstens nach Gleichung (10) eingesetzt werden. Der Neigungswinkel  $\Phi_A$  muß gleich oder größer  $45^\circ$  sein.

Fußnoten

[\(1\) Red. Anm.:](#) Außer Kraft am 1. Januar 2013 durch die Bek. vom 17. Oktober 2012 (GMBI S. 902)

## Fußnoten

- (2) [Amtl. Anm.:](#) Die Berechnung erfolgt in allen Fällen nach der Schubspannungshypothese. Für die Berechnung nach dem Flächenausgleichsverfahren gilt nur die geometrische Grundfigur gemäß [Bild 9](#) und [Bild 18](#)
- (3) [Amtl. Anm.:](#) Unterschiede bis zu 4 % in der Bruchdehnung der Werkstoffe von Grundkörper, Abweig und Verstärkung werden als nicht nennenwerter Unterschied des Verformungsvermögens der Werkstoffe angesehen, wobei  $\delta_5 = 14\%$  nicht unterschritten werden darf (vgl. Abschnitt 1.2).
- (4) [Amtl. Anm.:](#) Die folgenden Berechnungsregeln werden noch in dem Maße vervollständigt, wie neue Erkenntnisse gewonnen werden.
- (5) [Amtl. Anm.:](#) Die folgenden Berechnungsregeln werden noch in dem Maße vervollständigt, wie neue Erkenntnisse gewonnen werden.