

Apparatefüße

aus Profilstahl

Maximale Momente in die Apparatewand durch Gewichtskräfte über Apparatefüße

DIN
28 081
 Teil 4

Steel profile supports for vessels; maximum permissible bending moments on vessel wall due to profile support loads

Maße in mm

1 Anwendungsbereich und Zweck

Die in dieser Norm angegebenen Momente gelten für Apparatefüße mit Verstärkungsblech nach DIN 28 081 Teil 2 an Apparaten mit zylindrischen Mänteln, die ohne Überdruck oder mit innerem Überdruck von 0,5 bis 6 bar betrieben werden. Die ablesbaren Momente in dieser Norm sind die maximal mögliche zusätzliche Beanspruchung der Apparatewand in Abhängigkeit von deren Wanddicke.

Für die angegebenen Momente ist die nach DIN 28 081 Teil 2 vorgesehene Verstärkungsblech-Geometrie berücksichtigt. Die Schweißnähte müssen so aufgeführt werden, daß die Kräfte entsprechend den Wanddicken übertragen werden können. Die Anwendung der Norm setzt überwiegend statische Belastung der Füße voraus. Die Anzahl der Füße am Apparateumfang ist begrenzt durch den freien Abstand $\hat{l} = 2 \cdot \sqrt{(d - s_e) \cdot s_e}$ zwischen den Verstärkungsblechen. Der Abstand gilt sinngemäß auch für Füße gegenüber Stützen sowohl in Längs- als auch in Umfangsrichtung.

Anmerkung 1: Die Grenzlinie $s_e/d_1 \approx 0,003$ bzw. $s_e/d_2 \approx 0,003$ in den Kurvenblättern soll darstellen, daß für den Bereich rechts von der Grenzlinie Erfahrungen vorliegen, wonach Beulen nicht zu befürchten sind.

Anmerkung 2: Sofern an Apparaten angeordnete Füße in Sonderfällen nicht, wie in dieser Norm vorausgesetzt, als gleichmäßig tragend angesehen werden können, sind entsprechende Annahmen zwischen Hersteller und Besteller zu vereinbaren.

2 Bildliche Darstellung

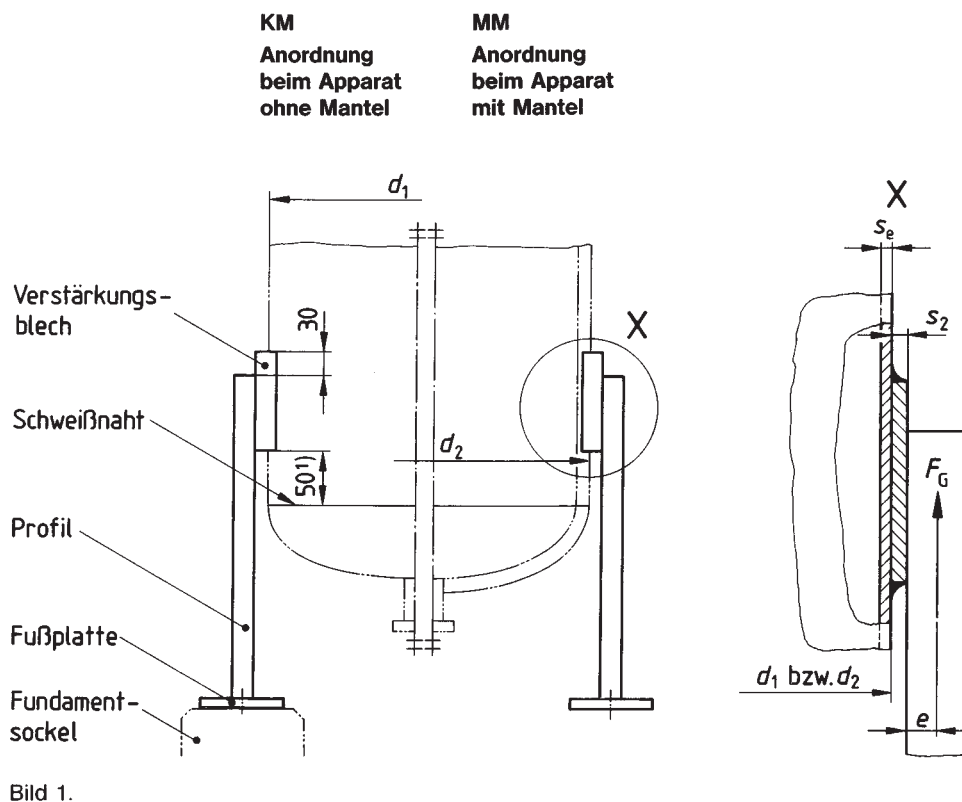


Bild 1.

- 1) Die Verringerung des Abstandes vom Verstärkungsblechrand zum Apparateboden (Schweißnaht) mit kleiner als 50 mm ist nicht zulässig. Eine Vergrößerung des Abstandes ist zu vereinbaren.

Fortsetzung Seite 2 bis 8

Normenausschuß Chemischer Apparatebau (FNCA) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

3 Formelzeichen, Einheiten

Tabelle 1.

Formelzeichen	Einheit	Benennung
c_1, c_2	mm	Zuschläge nach AD-Merkblatt B O
d_1	mm	Apparate-Nenndurchmesser
d_2	mm	Apparate-Mantel-Außendurchmesser
e	mm	Abstand zwischen Schwerachse Fußprofil und Verstärkungsblech (Hebelarm)
$\hat{l}$	mm	freier Abstand zwischen den Verstärkungsblechen
n	–	Anzahl der Apparatefüße
p_e	bar	innerer Überdruck (zulässiger Betriebsüberdruck + statische Flüssigkeitssäule) im Apparat
s	mm	Apparate-Mindestwanddicke einschließlich Zuschläge c_1, c_2
s_e	mm	ausgeführte Apparatewanddicke
s_o	mm	Apparatewanddicke ohne Zuschläge ($s_o = s_e - c_1 - c_2$) (Wanddickenunterschreitung und Abnutzungszuschlag)
s_2	mm	auszuführende Wanddicke des Verstärkungsbleches
C	–	Beiwert
F_G	N	Gewichtskraft je Apparatefuß (unter Berücksichtigung von Zusatzlasten)
G	kg	Gesamtgewicht des Apparates einschließlich Füllung und Zusatzlasten
K_Θ	N/mm ²	Festigkeitskennwerte bei einer zugrunde gelegten zulässigen Betriebstemperatur in °C
M	Nm	Moment in die Apparatewand $\left(F_G \cdot \frac{e + s_2}{1000} \right)$
S	–	Sicherheitsbeiwert

4 Festigkeitskennwert für die Apparatewand

Den Momentenkurven wurde der Festigkeitskennwert $K_\Theta = 177 \text{ N/mm}^2$ zugrunde gelegt.

Zur Umrechnung auf andere Festigkeitskennwerte siehe Abschnitt 7.4.

Die jeweiligen Festigkeitskennwerte K_Θ für die zulässige Betriebstemperatur sind den einschlägigen Regelwerken zu entnehmen (z. B. AD-Merkblätter der Reihe W).

5 Berechnungsgrundlagen

Bei der Berechnung maximaler Momente werden dem Beanspruchungszustand aus innerem Überdruck, der vom Anwender nach den Regeln der Technik (z. B. AD-Merkblätter) getrennt nachzuweisen ist, die Beanspruchungen aus lokaler Momentenbelastung nach [1] überlagert.

Das Verfahren setzt voraus, daß die lokale Lasteinleitung in die Apparatewand durch die geometrische Form des Verstärkungsbleches nach DIN 28 081 Teil 2 gegeben ist.

Abhängig vom Anwendungsfall erfolgt die Spannungsbewertung nach zwei Verfahren:

- Traglastverfahren (siehe Bild 2 bis Bild 6). Dieses Verfahren läßt teilplastische Verformung im Bereich der Krafteinleitung zu; Voraussetzung ist die Verwendung ausreichend zäher Werkstoffe [2], [3], [4].
- Gegen Festigkeitskennwertüberschreitung mit Sicherheitsbeiwert $S \approx 1,5$ (in Sonderfällen anzuwenden) ist das maximale Moment nach dem Traglastverfahren durch den Wert 2,17 zu dividieren.
Die Beanspruchungen werden damit auf den elastischen Bereich beschränkt, wie dies bei Verwendung weniger zäher Werkstoffe (z. B. Stähle mit Festigkeitskennwerten von $K > 360 \text{ N/mm}^2$ bei Raumtemperatur, oder bei Apparaten mit bestimmten Auskleidungen notwendig ist).

Äußerer Überdruck ist bei der Berechnung der Kurven nicht berücksichtigt.

6 Bestimmung der Verstärkungsblechdicke

Die Dicke des Verstärkungsbleches s_2 wird aus der Gewichtskraft F_G je Apparatefuß und dem Hebelarm e nach folgender Formel bestimmt:

$$s_e \leq s_2 = C \cdot \sqrt{\frac{F_G \cdot e}{K_\Theta}} \leq 1,5 \cdot s_e$$

Der Beiwert C ist in Tabelle 2 in Abhängigkeit von den Verstärkungsblechgrößen dargestellt. Die Verstärkungsblechmaße entsprechen DIN 28 081 Teil 2. Das Maß für e ist der Abstand zwischen Schwerachse Fußprofil und Verstärkungsblech. e ist in Tabelle 3 angegeben.

7 Berechnungsschema mit Momentenkurve

7.1 Für Fälle, die durch diese Norm nicht abgedeckt sind, kann der im AD-Merkblatt S 3/4 enthaltene Berechnungsgang benutzt werden.

Die Momentenkurven wurden nach unten gerundet. Bei einer Nachrechnung können sich in einzelnen Fällen geringfügig höhere maximale Momente ergeben.

7.2 Anleitung zur Handhabung der Kurvenblätter (siehe Bild 2 bis Bild 6)

Berechnung des Gesamtgewichtes G aus Apparatefüllung (Volumen multipliziert mit der im Betriebszustand oder Prüfzustand vorhandenen größten Dichte, Apparateeigengewicht einschließlich Zusatzlasten wie z. B. Rührwerke, Bedienungsflächen mit Verkehrslast sowie Rohrleitungsanteil). Dieses Gesamtgewicht, ausgedrückt in Gewichtskraft ($G \times 9,81$), ist durch die gewählte Anzahl der Apparatefüße zu dividieren. Man erhält dann die Gewichtskraft F_G je Apparatefuß. Andere Belastungen, z. B. Windlasten, sind sinngemäß in die Gewichtskraft einzubeziehen.

Mit einer gewählten ausgeführten Apparatewanddicke s_e ist die Mindestwanddicke $s_o = s_e - c_1 - c_2$ zu errechnen.

Tabelle 2.

Verstärkungs- blechmaße $a_2 \times b_2$	144 × 150	173 × 190	160 × 230	200 × 310	260 × 430
Beiwert C in mm – 1/2	0,116	0,087	0,074	0,053	0,04

Tabelle 3.

Fußprofil	L 60 × 6	L 80 × 8	U 100	IPB 100	IPB 140	IPB 200
e	18,6	24,7	34,5	50	70	100

Mit dem vorgegebenen inneren Überdruck p_e im Apparat kann in Abhängigkeit vom Verhältnis Apparatewanddicke zu Apparatedurchmesser (s_0/d_1 bzw. s_0/d_2) aus den entsprechenden Kurvenblättern das maximale Moment in die Apparatewand je Apparatefuß direkt abgelesen werden. Interpolationen zwischen den Kurven sind möglich.

Nach Bestimmung des anzusetzenden Hebelarmes ($e + s_2$) für die Gewichtskraft F_G kann das daraus resultierende tatsächlich auftretende Moment mit dem maximalen Moment verglichen werden.

Anmerkung: Für die nachfolgend gewählten Beispiele (siehe Abschnitte 7.3 und 7.4) wurde als Hebelarm der Abstand von der Schwerachse des Fußprofils zur Apparatewand gewählt. Dies ist eine auf der sicheren Seite liegende Annahme. Zur Bestimmung eines realistischen Wertes wären weitere Untersuchungen (Spannungsberechnungen und/oder Dehnungsmessungen) notwendig.

7.3 Beispiel für Handhabung der Kurvenblätter

Gegeben:

$$\begin{aligned} d_1 &= 1.600 \text{ mm} & s_e &= 12 \text{ mm} \\ p_e &= 6 \text{ bar innerer Überdruck} & c_1 &= 0,5 \text{ mm} \\ & & c_2 &= 1 \text{ mm} \end{aligned}$$

Apparatefuß nach DIN 28 081 Teil 2 mit Apparate-Nenn Durchmesser $d_1 = 1600 \text{ mm}$ Werkstoff RSt 37-2 nach DIN 17 100 Apparatewand-Werkstoff H II nach DIN 17 155 bei $K_\Theta = 177 \text{ N/mm}^2$

Verstärkungsblech-Werkstoff RSt 37-2 oder H II

$$s_0 = s_e - c_1 - c_2 = 10,5 \text{ mm, gerundet auf } s_0 = 10 \text{ mm}$$

$$F_G = \frac{M \cdot 1000}{(e + s_2)} \left[\frac{\text{Nm}}{\text{m}} \right]$$

$$s_0/d_1 = \frac{10}{1600} = 0,625 \cdot 10^{-2}$$

Gesucht:

$$M_{\max} = ? \text{ Nm} \quad F_G = ? \text{ N}$$

- a) Spannungsbewertung nach dem Traglastverfahren aus Bild 6

$$M_{\max} = 7.300 \text{ Nm}$$

Zugrunde gelegter Hebelarm:

e nach Tabelle 3 entsprechend dem in DIN 28 081 Teil 2 festgelegten Profil,

s_2 nach Abschnitt 6, jedoch mindestens nach DIN 28 081 Teil 2

$$(e + s_2) = 50 + 10 = 60 \text{ mm}$$

(siehe hierzu die Anmerkung unter Abschnitt 7.2)

$$F_{G \max} = \frac{7300}{0,06} = 121\,666 \text{ N je Apparatefuß}$$

- b) Spannungsbewertung gegen Festigkeitsüberschreitung mit Sicherheitsbeiwert $S \approx 1,5$

$$\begin{aligned} M_{\max} &= \frac{7300 \text{ Nm}}{2,17} \\ &= 3364 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$F_G = \frac{M_{\max}}{(e + s_2)} = \frac{3364}{0,06} = 56\,067 \text{ N}$$

(maximales Moment nach Traglastverfahren dividiert durch 2,17 nach Abschnitt 5 b))

7.4 Für andere Festigkeitskennwerte K'_Θ kann die Berechnung unter Benützung der Momentenkurve nach folgendem Beispiel vorgenommen werden. Das gilt sowohl für das Traglastverfahren als auch für das Verfahren der Spannungsbewertung gegen Festigkeitskennwertüberschreitung mit Sicherheitsbeiwert $S \approx 1,5$.

Gegeben:

$$\begin{aligned} d_1 &= 2000 \text{ mm} & s_0 &= 8 \text{ mm} \\ p_e &= 6 \text{ bar innerer Überdruck} & K'_\Theta &= 338 \text{ N/mm}^2 \\ & & & \text{Traglastverfahren} \end{aligned}$$

Apparatefuß nach DIN 28 081 Teil 2 mit Apparate-Nenn Durchmesser $d_1 = 2000 \text{ mm}$ Werkstoff RSt 37-2 nach DIN 17 100 Verstärkungsblech-Werkstoff entsprechend dem Apparatewand-Werkstoff

Gesucht:

$$M_{\max} = ? \text{ Nm}$$

Bestimmung des fiktiven Druckes $p'_e = 6 \cdot \frac{K_\Theta}{K'_\Theta}$

$$p'_e = 6 \cdot \frac{177}{338} = 3,14 \text{ bar Überdruck}$$

damit nach Bild 5 bei 3,2 bar (Momentenkurve Nr 12)

$$\text{und } s_0/d_1 = \frac{8}{2000} = 0,4 \cdot 10^{-2} : M'_{\max} = 8 \text{ kNm}$$

und

nach Bild 4 bei 1,6 bar (Momentenkurve Nr 12)

$$\text{und } s_0/d_1 = \frac{8}{2000} = 0,4 \cdot 10^{-2} : M'_{\max} = 9 \text{ kNm}$$

Die Interpolation ergibt für 3,14 bar

$$\begin{aligned} M'_{\max} &= 8000 + \left(\frac{9000 - 8000}{3,2 - 1,6} \right) \cdot (3,2 - 3,14) = 8037,5 \\ &\approx 8037 \text{ Nm} \end{aligned}$$

daraus folgt

$$M_{\max} = 8037 \cdot \frac{338}{177} = 15347 \text{ Nm}$$