

Ersetzt / Replaces ATI 893

Druckbehälter aus Kunststoff – Gestaltung, Belastbarkeit, Steifigkeit

Pressurised Containers in Plastics – Design, Load-bearing Capacity, Rigidity

A. Maszewski

Anwendungsbeispiele

Sample applications



*Brauchwasserfiltergehäuse /
Waste water filter housing
(Makrolon® 2808)*



*Bewässerungsanlagenfilter /
Irrigation system filter
(Durethan® BKV 50)*



*Pkw-Ölfiltergehäuse /
Car oil-filter housing
(Durethan® AKV 35)*

Bedingt durch die beachtliche Abhängigkeit der mechanischen Eigenschaften thermoplastischer Werkstoffe von vielerlei Einflußgrößen (z.B. Zeit, Temperatur, Umgebungsmedien, Verarbeitung, usw.) ist der nutzbare Bereich der Festigkeit und der Steifigkeit (Elastizitätsmodul) dieser Werkstoffe stark eingeschränkt. Erfolgreiches Konstruieren setzt deshalb hier, mehr als bei anderen Materialien, eine optimale Gestaltung voraus.

The mechanical properties of thermoplastic materials are conditioned to a large extent by a wide range of influencing factors (such as time, temperature, ambient media and processing) thereby severely restricting the serviceable range of their strength and rigidity (modulus of elasticity). An optimum design is thus even more important for successful construction with these materials than with other materials.

Geschäftsbereich Kunststoffe
Plastics Business Group

Für den Bereich der Druckbehälter wird im folgenden der Einfluß der Formgebung auf die Belastbarkeit und die Steifigkeit veranschaulicht. Im einzelnen verdeutlicht wird der Einfluß von

- Querschnittsgestaltung,
- Bodenformgestaltung,
- Flanschgestaltung und
- Verrippung.

Diese Einflußgrößen wurden rechnerisch (FEM) untersucht und in Form von Balkendiagrammen dargestellt. Dies ermöglicht eine einfache und schnelle Abschätzung ihrer Wirkung.

Behälterquerschnitt

Design- und Raumanforderungen zwingen oft den Konstrukteur, von der Idealform einer Kugel bzw. eines Zylinders abzuweichen und einen anderen Querschnitt für den Druckbehälter vorzusehen. Im Diagramm 1 ist eine Übersicht der zu erwartenden Belastbarkeits- und Steifigkeitsverhältnisse einiger elementarer Querschnittsformen dargestellt.

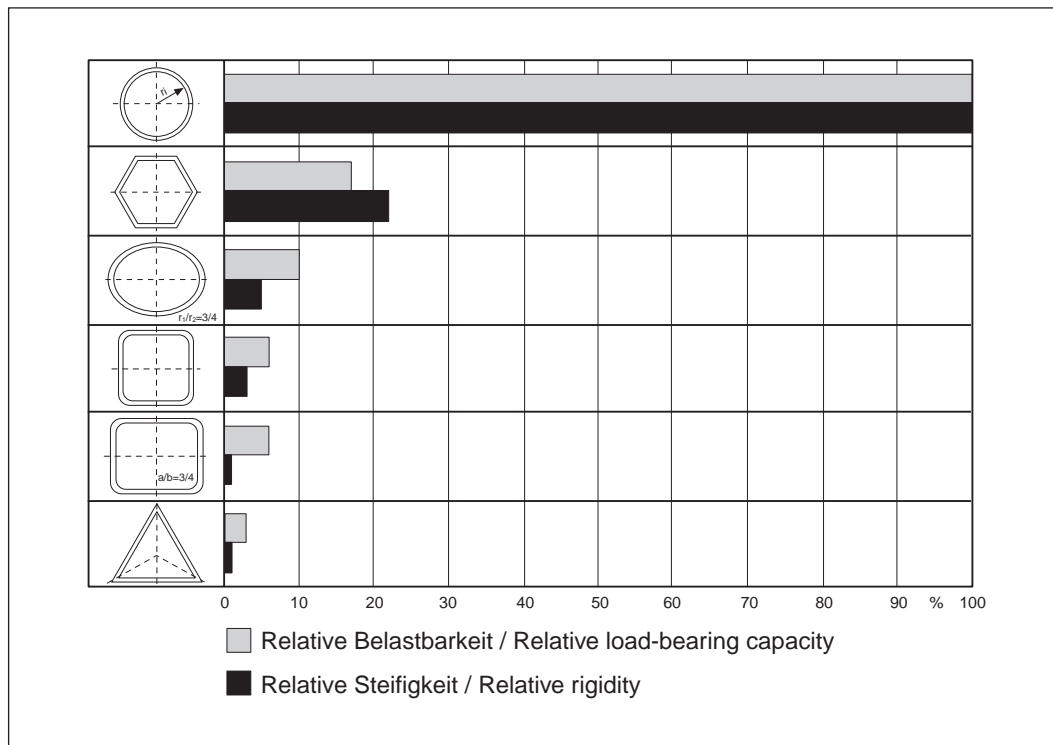
The influence of design on load-bearing capacity and rigidity will be illustrated for the field of pressurised containers in what follows. Details are given of the influence of

- cross-sectional design
- base design
- flange design
- ribbing.

These influencing factors have been investigated by the FE-Method and presented in the form of bar charts. This permits a straightforward, rapid estimate of their impact.

Container cross-section

Design and spatial constraints frequently force the design engineer to deviate from the ideal shape of a sphere or a cylinder and to select a different cross-section for the pressurised container. Diagram 1 gives an overview of the expected load-bearing and rigidity properties for a number of elementary cross-sectional shapes.



Innenfläche und Wanddicke = konstant
Wanddicke $s = 0.1 \times r$, Ecken mit $r = s$ ausgerundet

Inner surface and wall thickness = constant
Wall thickness $s = 0.1 \times r$. Corners rounded with $r = s$

Diagramm 1: Belastbarkeit und Steifigkeit einiger Profilquerschnitte unter Innendruck

Diagram 1: Load-bearing capacity and rigidity of a number of profile cross-sections under internal pressure

Die dort angegebenen Relativwerte können per Dreisatz in Absolutwerte umgerechnet werden. Hierzu muß die absolute Belastbarkeit bzw. Steifigkeit des adäquaten Zylinderquerschnitts bekannt sein. Diese kann überschlägig nach den folgenden Formeln abgeschätzt werden.

Belastbarkeit:

$$p = 2 \cdot s \cdot \sigma_t / d_m \quad (\text{zulässiger Innendruck des Zylinders})$$

$$p_x = p \cdot B_{\%} \quad (\text{zulässiger Innendruck des gesuchten Querschnitts})$$

Querschnittaufweitung:

$$\Delta d_m = d_m / E (\sigma_t - \mu \cdot \sigma_r) \quad (\text{Durchmesserdiff. des Zylinderquerschnitts})$$

$$f_x = \Delta d_m \cdot 100 / S_{\%} \quad (\text{Aufweitung des gesuchten Querschnitts})$$

Bezeichnungen:

d_m	mittlerer Durchmesser
s	Wanddicke
p	Innendruck
E	Elastizitätsmodul
σ_t	zulässige Tangentialspannung an der Innenwand
σ_r	Radialspannung ($\sigma_r = -p$)
μ	Querkontraktionszahl (ca. 0,35 für viele Thermoplaste)
$B_{\%}$	Prozentsatz der Belastbarkeit des gesuchten Querschnitts (siehe Diagramm 1)
$S_{\%}$	Prozentsatz der Steifigkeit des gesuchten Querschnitts (siehe Diagramm 1)

Erläuterungen:

Belastbarkeit:
Belastungshöhe beim Versagen (z.B. Berstdruck)

Relative Belastbarkeit:
Auf die Belastbarkeit eines Zylinders mit dem Durchmesser D_a und der Wanddicke s bezogene Belastbarkeit.

Steifigkeit:
Widerstand gegenüber Verformung

Relative Steifigkeit:
Analog der relativen Belastbarkeit

The relative values set out there can be converted into absolute values by the rule of three. To do this, it is necessary to know the absolute load-bearing capacity or rigidity of the equivalent cylinder cross-section. This can be estimated on an approximate basis with the following formulae:

Load-bearing capacity:

$$p = 2 \cdot s \cdot \sigma_t / d_m \quad (\text{permitted internal pressure for cylinder})$$

$$p_x = p \cdot B_{\%} \quad (\text{permitted internal pressure for required cross-section})$$

Enlargement of cross-section:

$$\Delta d_m = d_m / E (\sigma_t - \mu \cdot \sigma_r) \quad (\text{diameter difference of cylindrical cross-section})$$

$$f_x = \Delta d_m \cdot 100 / S_{\%} \quad (\text{enlargement of required cross-section})$$

Designations:

d_m	average diameter
s	wall thickness
p	internal pressure
E	Young's modulus
σ_t	permitted tangential stress on inner wall
σ_r	radial stress ($\sigma_r = -p$)
μ	coefficient of transverse contraction (approx. 0.35 for a large number of thermoplastic materials)
$B_{\%}$	percentage load-bearing capacity of required cross-section (see diagram 1)
$S_{\%}$	percentage rigidity of required cross-section (see diagram 1)

Explanations:

Load-bearing capacity:
Load level upon failure (e.g. bursting pressure)

Relative load-bearing capacity:
Load-bearing capacity expressed in terms of a cylinder with a diameter D_a and a wall thickness s

Rigidity:
Resistance to deformation

Relative rigidity:
As per relative load-bearing capacity

Bodenformen

Alle von der Halbkugelform abweichenden Bodenformen zeigen (bei konstanter Wanddicke) Beanspruchungsüberhöhungen gegenüber dem zylindrischen Behälterbereich. Damit ist die Auslegung des Bodenbereichs als ausschlaggebend für die gesamte Behälterkonstruktion anzusehen.

Im Diagramm 2 sind die Belastbarkeits- und Steifigkeitsverhältnisse einiger gängiger Bodenformen (siehe Bild 1) dargestellt.

Base designs

All base shapes that differ from a hemisphere display higher stress than the cylindrical section of the container (for a constant wall thickness). This means that the layout of the base section must be regarded as decisive for the container design as a whole.

Diagram 2 shows the loading-bearing and rigidity properties of a standard base shape (see Fig. 1).

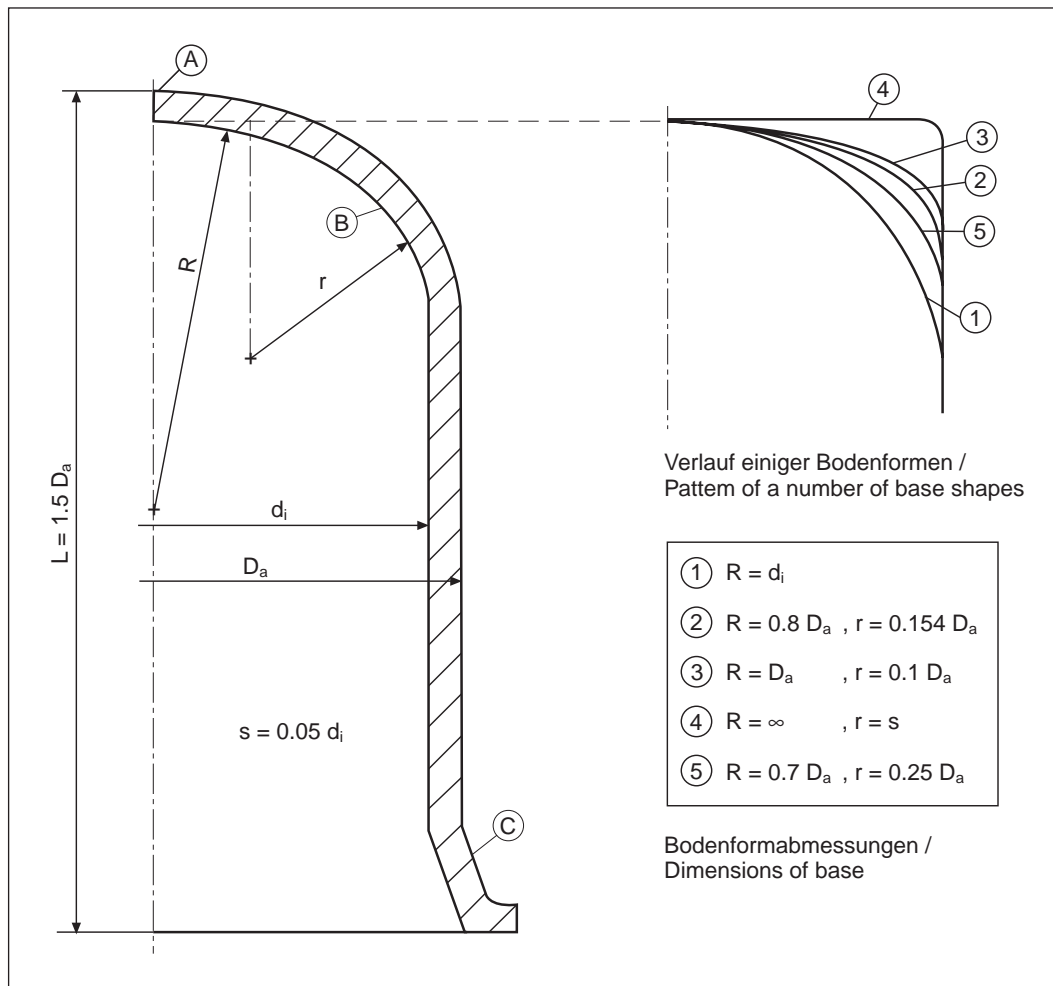


Bild 1: Beispiel einer Druckbehälterkonstruktion

Fig. 1: Example of a pressurised container design

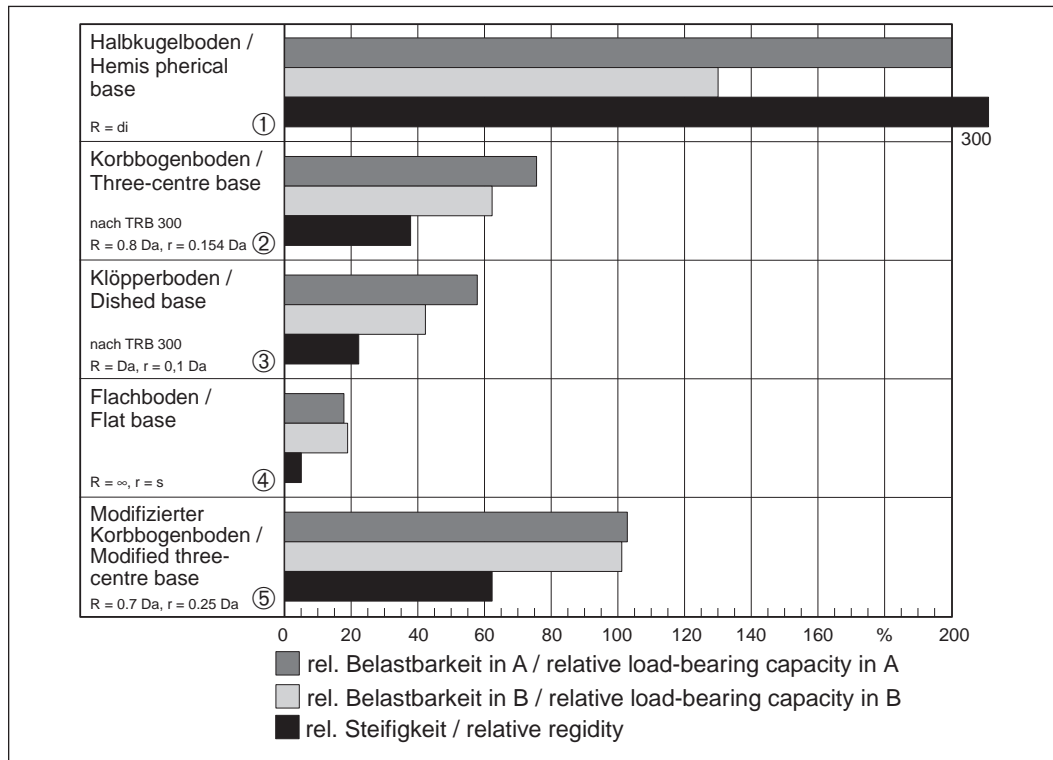


Diagramm 2: Belastbarkeit und Steifigkeit einiger Bodenformen von Druckbehältern

Diagram 2: Load-bearing capacity and rigidity of a number of base shapes for pressurised containers

Die dort angegebenen Relativwerte können in gleicher Weise wie bei den Querschnittsformen in absolute Werte umgerechnet werden.

The relative values specified there can be converted into absolute values in the same way as for the cross-sectional shapes.

Flanschformen

Im wesentlichen erscheinen uns bei Druckbehältern aus thermoplastischen Werkstoffen folgende zwei Flanscharten (siehe Bild 2) empfehlenswert:

Flange shapes

The following two flange types would appear to us to be essentially suitable for pressurised containers in thermoplastic materials (Fig. 2):

Losflansch

Dieser Flanschtyp erfordert einen zusätzlichen Überwurfring, welcher die eigentliche Befestigungsfunktion übernimmt. Aufgrund von Biegeeffekten ist an der Flanschaußenseite mit lokalen Spannungsüberhöhungen zu rechnen. Der konisch gestaltete Flanschauslauf wirkt solchen Spannungsüberhöhungen entgegen. Weil diese Spannungsüberhöhungen auf der Behälteraußenseite auftreten (in der Regel unkritisches Medium) und in axialer Richtung wirken (günstige Orientierung), werden sie als nur bedingt ausschlaggebend für die Auslegung angesehen.

Lapped flange

This type of flange requires an additional coupling ring, which assumes the fastening function proper. Localised elevated stresses can occur on the outside of the flange as a result of bending effects. The conically shaped flange outlet counteracts stress concentrations of this type. Since these stress concentrations occur on the outside of the container (generally an uncritical medium) and act in the axial direction (favourable orientation), they are only of limited importance for design.

Dieser Flanschtyp ist unseres Erachtens nur in Verbindung mit einer kunststoffgerechten Gewindeform empfehlenswert. Als solche werden in der VDI-Richtlinie 2544 das kerbwirkungsbereinigte Trapez- und das Sägewinde genannt. Bezüglich der Gewindelage ist aufgrund der Belastungscharakteristik und der Dichtungsverhältnisse das Außengewinde dem Innengewinde vorzuziehen. Die Anzahl der Gewindegänge soll so gewählt sein, daß die Scherbeanspruchung des Gewindes ca. 60 % der zulässigen Behälterbeanspruchung nicht übersteigt. In beiden Fällen kann zur Erhöhung der Flanschsteifigkeit ein Bund, wie im Bild 2 angedeutet, vorgesehen werden.

In our opinion, this type of flange is only to be recommended in conjunction with a thread design that is suitable for plastics. VDI Guideline 2544 specifies the trapezoidal thread, adjusted to avoid the notch effect, and the buttress thread. As far as the thread position is concerned, preference should be given to an outside thread rather than an inside one. The number of flights should be selected in such a way that the shear stress acting on the thread does not exceed about 60 % of the permitted stress on the container. In both cases, provision can be made for a collar like the one shown in Fig. 2 to increase the rigidity of the flange.

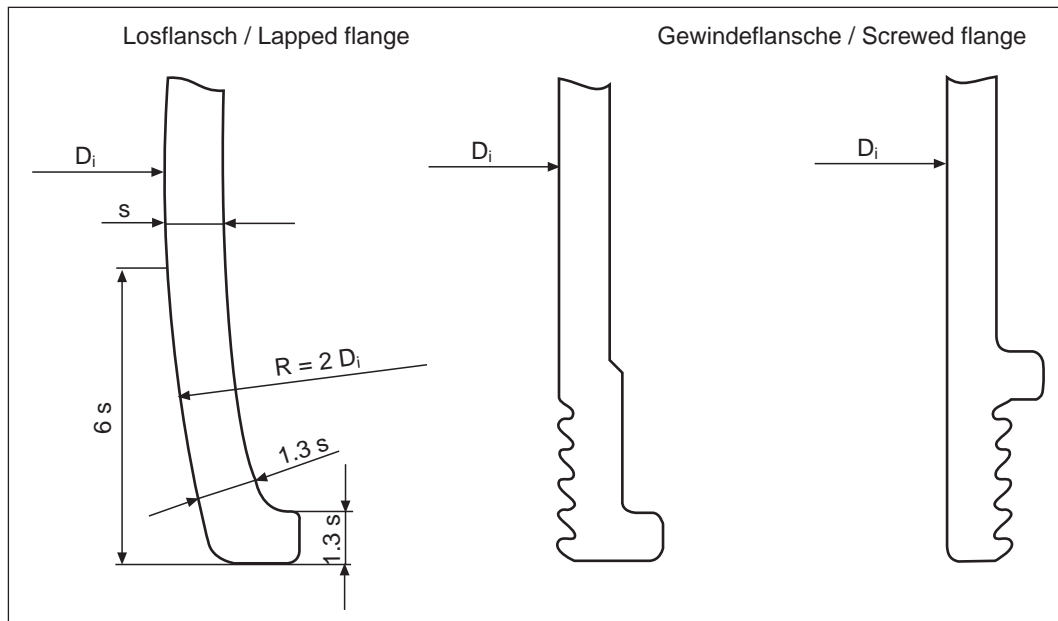


Bild 2: Beispiele kunststoffgerechter Flanscharten

Fig. 2: Examples of flange types suited to plastics

Dichtung

Der Einfluß der Dichtungsformen auf die Flanschbelastung wurde in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt. Nach Möglichkeit sollten Dichtungsformen verwendet werden, die zur Selbstdichtung führen.

Seals

The influence of the seal shape on flange stressing was not investigated in the course of this study. Where possible, use should be made of seal shapes which ensure self-sealing.

Verrippung

Eine Verrippung von innendruckbelasteten Behältern kann theoretisch dort als sinnvoll angesehen werden, wo sie die Druckanteile der Biegebelastung abzufangen vermag. Mit Biegebelastung ist bei Druckbehältern im Bereich des Bodens sowie des Flansches zu rechnen. Abgesehen davon kann die Verrippung als eine Maßnahme zur Vermeidung von verfahrenstechnisch nicht vertretbaren Wanddicken (Lunker, Kühlzeit) akzeptiert werden.

Ribbing

It can theoretically be wise to provide ribbing on containers that are subject to internal pressure where this is able to absorb the pressure components of the bending stress. On pressurised containers, bending stress has to be expected in the base and flange regions. Apart from this, the ribbing can be accepted as a means of avoiding wall thicknesses that are not acceptable from the process engineering angle (voids, cooling time).

Eine rechnerische Analyse dieser Verrippungsmaßnahmen hat gezeigt, daß

A mechanical analysis of these ribbing measures has shown that

- selbst eine extrem dichte Verrippung des Boden- und Flanschbereichs sich als eine unwirksame Maßnahme zur Reduzierung der Beanspruchung in diesen Bereichen erweist,

- even extremely dense ribbing in the base and flange region is seen to be ineffective in reducing stress in these areas

- eine Senkung der Beanspruchung im zylindrischen Bereich des Behälters durch eine äußere Tangentialverrippung werkstoffintensiver ist als durch eine Wanddickenerhöhung und zudem zu höheren äußeren Abmessungen führt.

Damit ist die Verrippung als eine generell ungeeignete Maßnahme zur Reduzierung der Beanspruchung von Druckbehältern zu betrachten.

Allgemeine Hinweise

- **Anschnittlage**
Um höchste Formteilqualität zu gewährleisten, ist die zentrale symmetrische Anschnittlage in der Bodenmitte einer jeden anderen Lage vorzuziehen. Die hierbei auftretende ungünstige Werkstofforientierung kann gegenüber den Nachteilen einer Bindenaht und des Verzugs guten Gewissens in Kauf genommen werden. Wegen der in der Bodenmitte bei allen von der Halbkugelform abweichenden Bodenformen auftretenden Spannungen (außen = Zug, innen = Druck) ist die Innenlage des Anschnitts der Außenlage vorzuziehen. Bei außenliegendem Anschnitt sollte deshalb der Angußabarbeitung eine besondere Sorgfalt gewidmet werden, um mögliche Kerbwirkung zu vermeiden.
- **Anschlüsse**
Im Bereich von Anschlüssen treten Spannungsüberhöhungen auf. Diese müssen bei der Auslegung gesondert berücksichtigt werden. Hierbei ist besonders auf eine kerbwirkungsarme Gestaltung der Übergänge zu achten. Um Bindenähte zu vermeiden, ist es u. U. vorteilhafter, bei Anschlußstutzen auf eine direkte Formung der Wanddurchbrüche zu verzichten und diese nachträglich durch Bohren herzustellen.
- **Bemessungskennwerte**
Ein Problem bei der Auslegung einer Konstruktion ist die Festlegung der zulässigen Beanspruchungswerte. Mit Hilfe des Computerprogramms „RALPH“ kann der Einfluß von Belastungsdauer, Umgebungstemperatur, Belastungsart sowie Orientierung und Bindenaht abgeschätzt werden. „RALPH“ ist Bestandteil des Software-Pakets der Bayer AG, Geschäftsbereich Kunststoffe.
Der Einfluß von Umgebungsmedien muß durch geeignete Abminderungsfaktoren gesondert berücksichtigt werden. Als solches muß unter Umständen bereits Wasser (z.B. bei PA) betrachtet werden. Abgesehen davon sollte die Auslegung eine angemessene Sicherheit beinhalten.
- **Gültigkeit**
Die Untersuchungsergebnisse berücksichtigen ausschließlich den Einfluß der Geometrieverhältnisse. Dem Werkstoffeinfluß sowie anderen Einflußgrößen muß gesondert Rechnung getragen werden. Eine Übertragung der Ergebnisse auf andere Konstruktionen ist nur bei ähnlichen Geometrieverhältnissen zulässig.
- **Literaturhinweise**
 - (1) Technische Regeln für Dampfkessel, TRB 300 (bzw. AD-Merkblätter B0 bis B10 und N1).
 - (2) Schwaigerer, S.: Festigkeitsberechnungen im Dampfkessel, Behälter- und Rohrleitungsbau
 - (3) DIN V 2505, Berechnung von Flanschverbindungen
 - (4) VDI-Richtlinie 2230
 - (5) Roark & Young, Formulas for Stress and Strain

- reducing the stress in the cylindrical region of the container by means of external tangential ribbing takes more material than would be required to increase the wall thickness and also leads to larger external dimensions.

Ribbing thus generally has to be regarded as an unsuitable means of reducing stress in pressurised containers.

General advice

- **Gate position**
To achieve the highest possible moulded part quality, preference should be given to a central, symmetrical gate over all other gate positions. The unfavourable material orientation that results in this way can be readily accepted by comparison to the drawbacks of a weld line and warpage. The gate should be positioned on the inside rather than on the outside (outside = tension, inside = compression) on account of the stresses that develop in the centre of the base on all base shapes deviating from a hemisphere. If the gate is positioned on the outside, particular care should be paid to degating in order to avoid a potential notch effect.
- **Connections**
Stress concentrations occur in the area around connections. Special consideration must be paid to these areas during design. Particular attention must also be paid to the shaping of the transitions in order to ensure that a notch effect is avoided. To prevent the development of weld lines with connection ports, it can be better for the perforations to be drilled in afterwards rather than formed directly in the wall.
- **Allowable stress values**
One problem encountered in the layout of a structure is the determination of the allowable stress values. The influence of the loading duration, the ambient temperature, the nature of the loading, the orientation and the weld line can be established with the aid of the “RALPH” computer program. “RALPH” forms part of the software package supplied by the Plastics Business Group of Bayer AG.
The influence of ambient media must be taken into account separately through appropriate reduction factors. It is even necessary to make allowance for water in some cases (such as with PA). The design must additionally incorporate an appropriate safety margin.
- **Validity**
The study results only make allowance for the influence of the geometric proportions. The influence of the material and other influencing variables must be taken into account separately. Results can only be transposed to other structures if they have similar geometric proportions.
- **References**
 - [1] Technische Regeln für Dampfkessel, TRB 300 (or AD Merkblätter B0 to B10 and N1)
 - [2] Schwaigerer, S.: Festigkeitsberechnungen im Dampfkessel, Behälter- und Rohrleitungsbau
 - [3] DIN V 2505, Calculation of flange connections
 - [4] VDI Guideline 2230
 - [5] Roark & Young, Formulas for Stress and Strain

Die vorstehenden Informationen und unsere anwendungstechnische Beratung in Wort, Schrift und durch Versuche erfolgen nach bestem Wissen, gelten jedoch nur als unverbindliche Hinweise, auch in bezug auf etwaige Schutzrechte Dritter. Die Beratung befreit Sie nicht von einer eigenen Prüfung unserer aktuellen Beratungshinweise – insbesondere unserer Sicherheitsdatenblätter und technischen Informationen – und unserer Produkte im Hinblick auf ihre Eignung für die beabsichtigten Verfahren und Zwecke. Anwendung, Verwendung und Verarbeitung unserer Produkte und der aufgrund unserer anwendungstechnischen Beratung von Ihnen hergestellten Produkte erfolgen außerhalb unserer Kontrollmöglichkeiten und liegen daher ausschließlich in Ihrem Verantwortungsbereich. Der Verkauf unserer Produkte erfolgt nach Maßgabe unserer jeweils aktuellen Allgemeinen Verkaufs- und Lieferbedingungen.

This information and our technical advice – whether verbal, in writing or by way of trials – are given in good faith but without warranty, and this also applies where proprietary rights of third parties are involved. Our advice does not release you from the obligation to check its validity and to test our products as to their suitability for the intended processes and uses. The application, use and processing of our products and the products manufactured by you on the basis of our technical advice are beyond our control and, therefore, entirely your own responsibility. Our products are sold in accordance with the current version of our General Conditions of Sale and Delivery.